

Metodología para Utilizar Robots en Intervenciones Terapéuticas para Niños con Parálisis Cerebral

Tesis Doctoral

Presentada por
Jaime Alberto Buitrago

Como requisito para optar el título de Doctor en Ingeniería



Doctorado en Ingeniería

Programa de Posgrado de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Cali, Colombia

2019

Metodología para Utilizar Robots en Intervenciones Terapéuticas para Niños con Parálisis Cerebral

Aprobada por:

Tutor, Eduardo Caicedo Bravo, Ph.D.
Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Universidad del Valle

Teodiano Freire Bastos, Ph.D.
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Eduardo Rocon de Lima, Ph.D.
Centro de Automática y Robótica (CAR-UPM-CSIC)

A mi esposa Melissa y mi hija Sara Juliana

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco al profesor Eduardo Caicedo por el apoyo brindado para el desarrollo de esta tesis, por ser un guía para el proceso de construir conocimiento en el área de las tecnologías de asistencia para la rehabilitación. En segundo lugar, quiero agradecer a la Universidad del Quindío por el apoyo a través de la comisión de estudio y a Colciencias por el apoyo económico a través de una beca para los estudios doctorales. Quiero agradecer de una manera muy especial al Centro de NeuroRehabilitación SURGIR, en cabeza de su gerente Marcela Bolaños, por abrir las puertas para permitir el desarrollo de las validaciones de la tecnología en el ambiente terapéutico. Además, quiero agradecer de manera muy especial a las familias y niños que participaron en los casos de estudio de la tesis. De la misma forma, al equipo de terapeutas que apoyaron el desarrollo de las intervenciones. Por último, quiero agradecer a mi familia, mi madre, mi esposa, mi hija y mi hermano, que me apoyaron incondicionalmente en todo el proceso de formación.

Tabla de Contenido

<i>Resumen</i>	1
<i>Abstract</i>	2
<i>Capítulo 1. Introducción</i>	3
1.1 Contribuciones de la tesis	6
1.2 Organización del documento.....	7
<i>Capítulo 2. Marco Teórico y Antecedentes</i>	9
2.1 Introducción	10
2.2 Discapacidad	10
2.3 Niños con Parálisis Cerebral	11
2.3.1 Tratamiento para niños con parálisis cerebral	14
2.4 Robótica de Asistencia	15
2.5 Antecedentes	16
2.6 Conclusiones del capítulo	25
<i>Capítulo 3. Propuesta Metodológica OTERA-NPC</i>	26
3.1 Introducción	27
3.2 Pilares para la metodología OTERA-NPC.....	28
3.2.1 Objetivos SMART	28
3.2.2 Escala de Medición de Objetivos (<i>Goal Attainment Scaling - GAS</i>)	29
3.2.3 Terapia Dirigida a Objetivos	31
3.2.4 Diseño Centrado en el Usuario (<i>User Centered Design - UCD</i>)	32
3.3 Propuesta Metodológica OTERA-NPC	34
3.3.1 Fase 1: Contexto del Niño	35
3.3.2 Fase 2: Objetivos Terapéuticos SMART.....	36
3.3.3 Fase 3: Intervención Terapéutica	37
3.3.4 Fase 4. Escenario Terapéutico	38
3.3.5 Instrumentos para el desarrollo de Metodología.....	39
3.4 Conclusiones del capítulo	40
<i>Capítulo 4. Validación de la Metodología</i>	41
4.1 Introducción	42
4.2 Caso 1	43

4.2.1	Fase 1: Contexto del niño.....	43
4.2.2	Fase 2: Objetivos Terapéuticos SMART.....	46
4.2.3	Fase 3. Intervención terapéutica.	57
4.2.4	Fase 4. Escenarios terapéuticos.	61
4.3	Caso 2	66
4.3.1	Fase 1: Contexto del niño.....	66
4.3.2	Fase 2: Objetivos Terapéuticos SMART.....	68
4.3.3	Fase 3. Intervención terapéutica	71
4.3.4	Fase 4. Escenarios terapéuticos.	76
4.4	Conclusiones del capítulo	78
<i>Capítulo 5. Conclusiones</i>		79
5.1	Trabajos Futuros.....	81
5.2	Publicaciones	82
5.2.1	Eventos.....	82
5.2.2	Capítulo de libro	83
5.2.3	Revistas	83
5.2.4	Premio	83
<i>Referencias</i>		85

Lista de Figuras

Figura 1. Sistema de Clasificación de la Función Motora Gruesa [Copyright Version 2 © Bill Reid, Kate Willoughby, Adrienne Harvey and Kerr Graham, The Royal Children's Hospital Melbourne].	13
Figura 2. Niña interactuando con un Robot Lego® (Al Cook et al., 2010).	18
Figura 3. Sistema CosmoBot™ en terapia (Brisben et al., 2005).	20
Figura 4. Robot IROMEC interactuando con un niño (Besio & Caprino, 2009).	21
Figura 5. Robot NAO en un escenario interactivo (Rahman et al., 2015).	22
Figura 6. Contexto de la intervención terapéutica.	27
Figura 7. Ciclo de actividades de la ISO13407 (ISO, 1999).	33
Figura 8. Fases de la propuesta metodológica.	35
Figura 9. Actividades de la fase 1.	35
Figura 10. Actividades de la fase 2.	36
Figura 11. Actividades de la fase 3 y fase 4.	38
Figura 12. Diagrama de la Aplicación.	48
Figura 13. TherAppyBot.	48
Figura 14. Interfaz hardware e interruptores de 6.4 cm.	49
Figura 15. Aplicaciones de TherAppyBot.	50
Figura 16. Configuración PaintTBot.	51
Figura 17. Interruptores de 6.4 cm y robot ArmTBot.	52
Figura 18. Configuración App GrabTBot.	52
Figura 19. App MazeTBot.	53
Figura 20. n1, n2 y n3 en terapia.	58
Figura 21. Evaluación de objetivos de n1.	59
Figura 22. Evaluación de objetivos de n2.	59
Figura 23. Evaluación de objetivos de n3.	60
Figura 24. Valoración de objetivos usando GAS para n1, n2 y n3.	61
Figura 25. Diagrama de la propuesta para la terapia usando el robot NAO.	69
Figura 26. n4 y n5 interactuando con el robot humanoide.	74
Figura 27. Evaluación de objetivos de n4.	74
Figura 28. Evaluación de objetivos de n5.	75
Figura 29. Valoración de objetivos usando GAS para n4 y n5.	76

Lista de Tablas

Tabla 1. Robots usados en intervenciones para niños con parálisis cerebral.	23
Tabla 2. Escala de Calificación de GAS. (Turner-Stokes, 2006)	30
Tabla 3. Escala Importancia y Dificultad.	31
Tabla 4. Estructura del Escenario Terapéutico.	38
Tabla 5. Relación de niños para el caso 1.	44
Tabla 6. Escalado de objetivos terapéuticos SMART para n1.	54
Tabla 7. Escalado de objetivos terapéuticos SMART para n2.	55
Tabla 8. Escalado de objetivos terapéuticos SMART para n3.	56
Tabla 9. Cronograma de intervención para n1.....	57
Tabla 10. Cronograma de intervención para n2.....	57
Tabla 11. Cronograma de intervención para n3.....	57
Tabla 12. Escenario Terapéutico CAUSA-EFECTO.....	62
Tabla 13. Escenario Terapéutico CONTROL-INHIBITORIO.....	63
Tabla 14. Escenario Terapéutico BINARIO.....	64
Tabla 15. Escenario Terapéutico RUTAS.....	65
Tabla 16. Relación de niños para el segundo caso.....	66
Tabla 17. Escalado de objetivos terapéuticos SMART para n4.	70
Tabla 18. Escalado de objetivos terapéuticos SMART para n5.	71
Tabla 19. Cronograma de intervención para n4.....	72
Tabla 20. Cronograma de intervención para n5.....	72
Tabla 21. Escenario Terapéutico CAMINEMOS.	76
Tabla 22. Escenario Terapéutico DE-PIE.	77

Resumen

Para niños con parálisis cerebral, la terapia desempeña un rol decisivo para el desarrollo motor, cognitivo, sensorial, comunicacional, social y emocional. La terapia puede utilizarse con otras opciones de tratamiento, como el uso de tecnologías para apoyar y complementar el proceso terapéutico. Entre estas tecnologías, se encuentran los robots de asistencia interactivos y sociales, que han sido utilizados en diferentes contextos de la rehabilitación.

Esta tesis de doctorado presenta la propuesta de la metodología **OTERA-NPC**, que promueve el cumplimiento de **Objetivos T**erapéuticos a través de **Robots de Asistencia para Niños con Parálisis Cerebral**, además de que proporciona un camino formal para llevar a cabo intervenciones terapéuticas usando robots interactivos y sociales. Esta nueva metodología propone una intervención terapéutica centrada en objetivos SMART (*Specific, Measurable, Achievable, Realistic and Timed*), siendo evaluados y escalados a través de la escala de medición de objetivos GAS (*Goal Attainment Scaling*). Así mismo, la metodología utiliza técnicas del diseño centrado en el usuario para el desarrollo de las aplicaciones en los robots que apoyan las intervenciones terapéuticas para niños con parálisis cerebral.

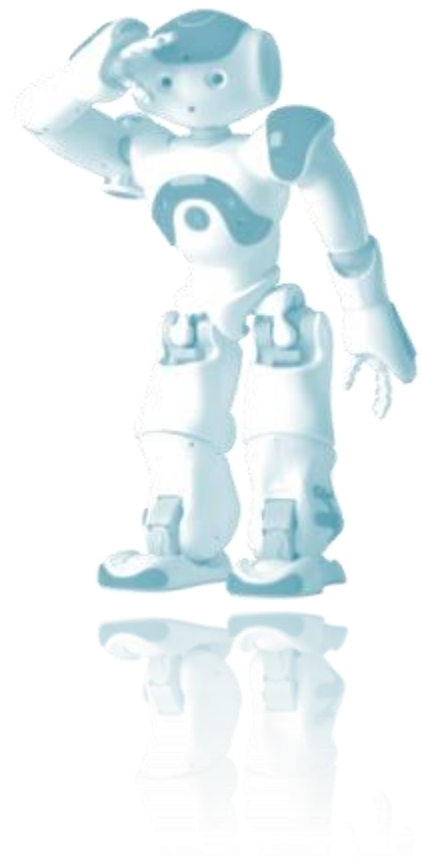
La metodología fue validada a través de dos casos de estudio, donde se evidenciaron contribuciones en la ejecución de la misma a través de las intervenciones terapéuticas usando robots de asistencia interactivos y sociales. Para el primer caso se utilizaron robots contruidos con sistemas LEGO®, que generaron nuevas estrategias motoras y habilidades cognitivas en los niños. Así mismo, se diseñaron aplicaciones e interfaces nuevas para el acceso y control del robot de asistencia para la terapia. Para el segundo caso, se realizó una nueva intervención a través del robot humanoide NAO, que se utilizó como un compañero que apoyó la terapia generando mayor atención y motivación en los niños para un mejor desempeño en el aprendizaje motor en ejercicios de marcha y control en transiciones de sedente a bípedo. De estos dos casos de estudio, se generaron seis escenarios terapéuticos, los cuales formalizan la intervención para niños con parálisis cerebral usando dos tipos robots. Cada escenario presenta un método formal para promover el cumplimiento de un objetivo terapéutico.

Abstract

For children with cerebral palsy, therapy plays a decisive role for motor, cognitive, sensory, communicational, social and emotional development. Likewise, therapy can be used with other treatment options, such as the use of technologies to support and complement the therapeutic process. Among these technologies are the interactive and social assistive robots, which have been used in different contexts of rehabilitation.

This doctoral thesis presents the proposal of the OTERA-NPC methodology, which promotes the fulfillment of therapeutic objectives through assistance robots for children with cerebral palsy, as well as providing a formal path to carry out therapeutic interventions using interactive and social robots. This new methodology proposes a therapeutic intervention focused on SMART objectives (Specific, Measurable, Achievable, Realistic and Timed), being evaluated and scaled through Goal Attainment Scaling (GAS). The methodology uses user-centered design techniques for the development of applications in robots that support therapeutic interventions for children with cerebral palsy.

The methodology proposed here was validated through two case studies, where contributions were made in the execution of the same through therapeutic interventions using interactive and social assistive robots. For the first case, robots constructed with LEGO® systems were used, which generated new motor strategies and cognitive abilities in children. New applications and interfaces were designed for the access and control of the assistance robot for therapy. Similarly, for the second case, a new intervention was made through the humanoid robot NAO, which was used as a companion that supported the therapy, generating greater attention and motivation in the children and better performance in motor learning exercises like walking and controlling transitions from sitting to standing. These case studies generated six therapeutic scenarios, which formalize the intervention for children with cerebral palsy using two robot types. Each scenario presents a formal method to achieve a therapeutic goal.



Capítulo 1. Introducción

El Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia - UNICEF (*United Nations International Children's Emergency Fund*) (UNICEF, 2013) informa que más de 100 millones de niños, es decir, 1 de cada 20 niños menores de 14 años vive con alguna discapacidad moderada o grave. Estudios de la Organización Mundial para la Salud reportan que la discapacidad motora más común en la infancia es la parálisis cerebral (OMS, 2011). La parálisis cerebral describe un grupo de trastornos del desarrollo del movimiento y la postura, causantes de limitación en la actividad, que se atribuyen a trastornos no progresivos que ocurrieron en el cerebro fetal o infantil en desarrollo (Bax et al., 2005). Además, la parálisis cerebral es considerada un trastorno neurológico causado por una lesión cerebral no progresiva o malformación que se produce mientras el cerebro del niño se encuentra en desarrollo (Child, 2016).

El tratamiento de la parálisis cerebral es casi tan complejo como es la condición, y no existe un protocolo universal, ya que cada individuo está afectado de manera diferente. Para niños con parálisis cerebral, la terapia es un mecanismo de intervención para apoyar su desarrollo en áreas del funcionamiento motor, cognitivo, sensorial, comunicacional, social y emocional. La terapia desempeña un papel importante en la gestión de la discapacidad física, la optimización de la movilidad y la calidad de vida (Child, 2016). Los objetivos fundamentales de la terapia son: optimizar la función motora, prevenir el desarrollo de condiciones secundarias, tales como deformidades musculoesqueléticas, y promover participación en la vida diaria (Chiarello, Palisano, Bartlett, & McCoy, 2011). Además, la terapia puede utilizarse junto con otras opciones de tratamiento, como la terapia con medicamentos, cirugía, tecnología de rehabilitación, medicina complementaria, entre otras.

Las terapias pediátricas difieren de la terapia de adultos, ya que, por lo general, los niños no pueden (o no están dispuestos a) seguir instrucciones directas requeridas de una rutina de terapia (Howard, 2013). Así mismo, el desempeño en la terapia depende directamente de la adherencia, y los métodos convencionales consisten en repeticiones que por lo general hacen que la persona, en este caso, el niño con parálisis cerebral, se sienta desmotivado y abandone o no continúe los procesos de rehabilitación. Por lo tanto, se suelen promover intervenciones interesantes y motivadoras que permitan mejorar la participación del niño en la sesión de terapia. La motivación, la participación activa y la auto-iniciación de movimientos motores son cruciales para el éxito de la terapia (Pajaro Blázquez, 2013). En procesos terapéuticos para niños con parálisis cerebral, obtener cooperación de los niños y motivarlos a realizar ejercicios puede ser una tarea difícil.

En los últimos treinta años, la evolución y la aplicación de las tecnologías de rehabilitación han contribuido enormemente a las personas con discapacidad. Entre estas tecnologías, se encuentran los robots de asistencia, que han sido ampliamente utilizados en rehabilitación, especialmente en terapia física, movilidad, como asistentes personales, en integración social, en la academia, entre otros (Al Cook, Encarnaço, & Adams,

2010). Además, estos robots pueden reemplazar la pérdida de una función corporal, brindar asistencia en la terapia y promover actividades para desarrollar habilidades motoras y cognitivas (Shamsuddin et al., 2014).

Generalmente, la asistencia en rehabilitación utilizando robots es bien recibida y ha demostrado ser un complemento motivador en personas que sufren deficiencias motoras (Al Cook et al., 2010), (Kommu, 2012), (Howard, 2013). La motivación es reconocida como uno de los desafíos más importante en rehabilitación (Tapus, Maja, & Scassellatti, 2013). La robótica de asistencia interactiva y social tiene el potencial de proporcionar medios novedosos para realizar intervenciones motivantes en el desarrollo de habilidades motoras y cognitivas. Además, existe evidencia donde las terapias orientadas a tareas intensivas facilitan la recuperación motora a través de la capacidad del sistema nervioso central para reorganizar respuestas a diferentes estímulos, lo que se conoce como neuroplasticidad (Pajaro Blázquez, 2013).

Por otro lado, existen intervenciones donde se han utilizado robots de asistencia interactivos y sociales para niños con parálisis cerebral en diferentes contextos. Algunos estudios usaron los sistemas LEGO® Mindstorms con interruptores y sistemas de comunicación que actuaban como interfaces de acceso para el control y la interacción entre el robot y el niño (Adams & David, 2013)(Adams, María, Rincón, & Encarnação, 2013). En estos trabajos los principales objetivos fueron: la identificación de habilidades cognitivas (A Cook, Adams, Volden, Harbottle, & Harbottle, 2011), el desarrollo de habilidades para actividades académicas (Poletz, Adams, Cook, & Encarnac, 2010) y la promoción de habilidades relacionadas con el juego. De la misma forma, varios estudios demuestran la eficacia de esta herramienta, no solo para estas actividades, sino con un impacto en el desarrollo de sus habilidades cognitivas, sociales y lingüísticas (A Cook et al., 2011).

También, se identificó el proyecto IROMEC, cuyo objetivo principal fue investigar cómo los robots pueden ser mediadores sociales para que niños participen en actividades de juego, debido a deficiencias cognitivas, físicas o del desarrollo (Besio & Caprino, 2009). Se resalta de este proyecto la propuesta metodológica para el uso del robot IROMEC que presenta un camino formal para el uso del robot IROMEC en contexto del juego.

Por último, se identificaron robots de asistencia en forma de juguete y humanoides, que fueron utilizados en intervenciones terapéuticas para niños con parálisis cerebral. El robot COSMOBOT, un robot tipo juguete, que fue diseñado como una herramienta de interacción para promover actividades educativas, terapéuticas y de juego para niños con y sin discapacidad (Brisben, Safos, Lockerd, & Lathan, 2005). De igual manera, el robot URSUS (Calderita, Bustos, Suárez Mejías, Fernández, & Bandera, 2013) en forma de oso y el robot humanoide NAO (Martín et al., 2015) (González, Pulido, & Fernández, 2017), que se utilizaron para la realización de ejercicios de rehabilitación en miembros superiores en pecientes pediátricos (Pulido et al.,

2017). Se reportó el uso de estos robots como una herramienta para el aprendizaje a través de la imitación. Igualmente, el robot NAO se ha utilizado para el aprendizaje motor en niños con parálisis cerebral (Norjasween Abdul Malik, Yussof, Hanapiah, & Anne, 2014) y se usaron escenarios interactivos para realizar ejercicios motores en terapia (Rahman, Hanapiah, Basri, Malik, & Yussof, 2015) (Norjasween Abdul Malik, Yussof, & Hanapiah, 2017).

Teniendo en cuenta lo anterior, se encontraron trabajos relacionados con intervenciones para niños con parálisis cerebral en diferentes áreas utilizando robots de asistencia interactivos y sociales, pero no se evidencia el uso de una metodología formal para promover la participación y el cumplimiento de objetivos en terapias usando robots de asistencia como una herramienta para los procesos de rehabilitación de esos niños. Teniendo en cuenta el planteamiento previo, se formula la pregunta de investigación para esta tesis doctoral: ¿Cómo se deben utilizar robots de asistencia en terapias para niños con parálisis cerebral, mediante una metodología que defina escenarios terapéuticos alineados con el cumplimiento de objetivos en procesos de rehabilitación?

El objetivo principal para el desarrollo de esta tesis doctoral es construir una metodología para utilizar robots de asistencia que promueva el cumplimiento de objetivos terapéuticos en procesos de rehabilitación para niños con parálisis cerebral.

Los objetivos específicos para lograr el desarrollo del objetivo principal son:

- Obtener un estado del arte de robots de asistencia para niños con parálisis cerebral utilizados en intervenciones terapéuticas.
- Proponer una metodología para llevar a cabo intervenciones terapéuticas usando robots de asistencia para niños con parálisis cerebral.
- Proponer escenarios terapéuticos alineados con el cumplimiento de objetivos en procesos de rehabilitación para niños con parálisis cerebral utilizando robots de asistencia.
- Validar la metodología propuesta, ejecutando y evaluando los escenarios terapéuticos en los procesos de rehabilitación para niños con parálisis cerebral.

1.1 Contribuciones de la tesis

La principal contribución es la propuesta de la metodología OTERA-NPC. Esta propuesta promueve el cumplimiento de Objetivos Terapéuticos a través de Robots de Asistencia para Niños con Parálisis Cerebral, además de proporcionar un camino formal para llevar a cabo intervenciones terapéuticas usando robots de asistencia interactivos y sociales en procesos de rehabilitación para esos niños.

Esta nueva metodología propone cuatro fases (Jaime A. Buitrago & Caicedo, 2017) para desarrollar una intervención terapéutica centrada en objetivos tipo SMART (*Specific, Measurable, Achievable, Realistic and Timed*) (Bovend'Eerd, Botell, & Wade, 2009), siendo evaluados y escalados a través de la escala de medición de objetivos (*Goal Attainment Scaling - GAS*) (Turner-Stokes, 2006). La metodología propone utilizar técnicas del diseño centrado en el usuario para la implementación de las aplicaciones de los robots de asistencia que apoyan la intervención terapéutica para niños con parálisis cerebral.

Por medio de dos casos de estudio se validó la metodología propuesta, que evidenció contribuciones en la ejecución de la misma a través de robots de asistencia interactivos y sociales en intervenciones terapéuticas. En el primer caso se utilizaron robots de asistencia que anteriormente se habían utilizado en otros contextos, pero, en esta tesis, se utilizaron en un contexto terapéutico para niños con parálisis cerebral, que generaron nuevas estrategias motoras para lograr alcances con miembros superiores y habilidades cognitivas (J. Buitrago, Bolaños, & Caicedo, 2017). Así mismo, se diseñaron aplicaciones e interfaces nuevas para el acceso y control del robot de asistencia para la terapia.

Igual que para el primer caso, en el segundo caso se realizó una nueva intervención a través del robot humanoide NAO, que se utilizó como un compañero que ayudó a guiar la terapia y generó mayor atención y motivación en los niños para el aprendizaje motor de ejercicios de marcha y control en transiciones de sedente a bípedo (Jaime Alberto Buitrago, Bolaños, & Caicedo, 2019).

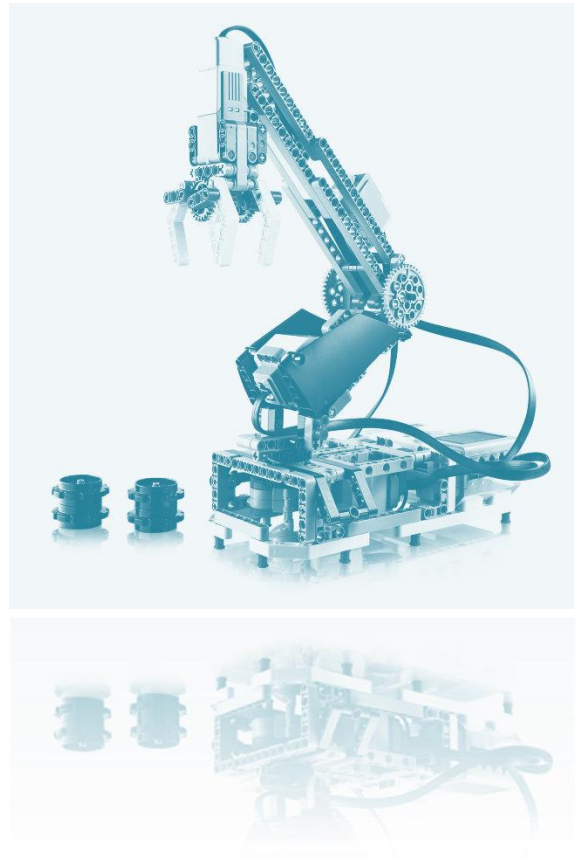
Otra contribución de esta tesis fue la generación de seis escenarios terapéuticos, los cuales formalizan la intervención para niños con parálisis cerebral usando robots de asistencia. Cada escenario representa un método formal para promover el cumplimiento de un objetivo terapéutico, presentando el rol del niño y el terapeuta, la descripción de la actividad y la configuración del espacio para la realización de la intervención.

Por último, la metodología OTERA-NPC impactó positivamente al centro de NeuroRehabilitación SURGIR (Cali, Colombia) que es el centro asistencial donde se realizaron las validaciones, y que asisten los niños de manera regular, ya que se desarrolló un proyecto para crear e implementar nuevas tecnologías para los procesos terapéuticos del centro utilizando la metodología (SENNOVA, 2017). Se generaron nuevas aplicaciones interactivas para procesos terapéuticos en niños con trastornos de aprendizaje y con discapacidades motoras. Estas aplicaciones apoyan la realización de ejercicios motores y cognitivos de manera interactiva a través de nuevas interfaces de acceso y aplicaciones para dispositivos móviles.

1.2 Organización del documento

Teniendo en cuenta que en el Capítulo 1 ya se presentó la motivación, la definición del problema, los objetivos y las contribuciones, el resto de la tesis doctoral se distribuye de la siguiente manera: el Capítulo 2

presenta los conceptos y definiciones sobre discapacidad y parálisis cerebral, además se describen los objetivos del tratamiento terapéutico para niños con parálisis cerebral. Este capítulo también presenta los objetivos de la robótica de asistencia, sus antecedentes y estado del arte de los principales trabajos con robots de asistencia para niños con parálisis cerebral. En el Capítulo 3 se presenta la propuesta metodológica para promover el cumplimiento de Objetivos Terapéuticos a través de Robots de Asistencia para Niños con Parálisis Cerebral: OTERA-NPC. En este capítulo se describe la metodología y sus fases para el desarrollo dela misma. Para el Capítulo 4, se realiza la validación de la metodología por medio de dos casos de estudio en el área de terapia ocupación y fisioterapia. Por último, el Capítulo 5 presenta las conclusiones de la tesis doctoral, trabajos futuros y las publicaciones realizadas.



Capítulo 2. Marco Teórico y Antecedentes

2.1 Introducción

El propósito de este capítulo es presentar una revisión a los principales conceptos sobre discapacidad, parálisis cerebral y su tratamiento en niños. Los niños con parálisis cerebral se enfrentan a desafíos en la vida diaria, afectando su entorno social, cultural y educativo. El principal tratamiento para los niños con parálisis cerebral son sesiones de terapia física, ocupacional y de lenguaje. Desde una perspectiva global, el objetivo principal de estas terapias es mejorar las habilidades motoras y cognitivas. Así mismo, se discuten y presentan conceptos de la tecnología de rehabilitación y la robótica de asistencia, la cual es una tecnología ampliamente utilizada en rehabilitación (Al Cook et al., 2010) y su objetivo es investigar la aplicación de la robótica en procedimientos terapéuticos para lograr la mejor posible recuperación funcional motora y cognitiva para personas en condición de discapacidad (Johnson, Micera, Shibata, & Guglielmelli, 2008). Por último, se presentan los principales antecedentes de robots de asistencia utilizados en niños con parálisis cerebral. En esta revisión se identificaron los robots que permiten interactuar, motivar y participar a los niños en actividades para su desarrollo motor y cognitivo.

2.2 Discapacidad

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la discapacidad es un término general que abarca las deficiencias, las limitaciones de la actividad y las restricciones de la participación. Las deficiencias son problemas que afectan a una estructura o función corporal; las limitaciones de la actividad son dificultades para ejecutar acciones o tareas; y las restricciones de la participación son problemas para participar en situaciones vitales. Por lo tanto, la discapacidad es un fenómeno complejo, multidimensional y multifactorial que refleja una problemática mundial de la interacción del funcionamiento de una persona y el ambiente, siempre relacionado con una condición de salud (OMS, 2011).

Aunque no existen datos estadísticos precisos sobre la población mundial en estado de discapacidad, sí existen datos que permiten proyectar una idea de la magnitud de la población en esta condición. Por ejemplo, la OMS dice que el índice de prevalencia mundial de discapacidad es del 15% (OMS, 2011), o sea, más de 1000 millones de personas. Algunos estudios realizados permiten evidenciar que el índice de prevalencia para Sudamérica es del 8,4% (OPS, 2009), y según el censo más reciente realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE en Colombia (2005), el índice de prevalencia de discapacidad en el país era del 6,4%. En los países latinoamericanos se encuentran cifras de prevalencia de discapacidad muy variadas; esto obedece a la diversidad de métodos empleados para medirla y a la ausencia de estandarización y homologación de criterios técnicos para definir el concepto de discapacidad.

La Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud, versión Infancia y Adolescencia (CIF-IA), considera a la discapacidad no como una cuestión puramente biológica ni puramente social, sino más como una interacción entre problemas de salud y factores ambientales y personales (WHO, 2001). La Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad establece que “las personas con discapacidad incluyen a aquellas que tienen deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales a largo plazo que, al interactuar con diversas barreras, puedan impedir su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con las demás” (UNESCO, 2009).

2.3 Niños con Parálisis Cerebral

La primera infancia y la niñez son el período que se extiende desde el desarrollo prenatal hasta los 12 años de edad. Se trata de una etapa crucial de crecimiento y desarrollo, donde las experiencias influyen en todo el ciclo de vida del individuo (Irwin, L., Siddiqi, D., Hertzman, 2007). Para los niños, esta etapa es una importante ventana de oportunidades que prepara las bases para el aprendizaje y la participación, previniendo posibles retrasos del desarrollo y discapacidades. Para los niños con discapacidad, es una etapa vital para garantizar el acceso a intervenciones que puedan ayudar a desarrollar su potencial (OMS, 2013) (UNESCO, 2009). Sin embargo, sin intervenciones tempranas y apropiadas, las dificultades de los niños en estado de discapacidad pueden agravarse, lo que suele provocar consecuencias permanentes, exclusión profunda y deterioro en las actividades de la vida diaria, entre otras.

El Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia - UNICEF (*United Nations International Children's Emergency Fund*) en el documento “Estado Mundial de la Infancia 2013”(UNICEF, 2013) informa que más de 100 millones de niños, es decir, 1 de cada 20 niños menores de 14 años, vive con alguna discapacidad moderada o grave. Estudios de la OMS reportan que la discapacidad más común en la infancia es la parálisis cerebral (OMS, 2011), que afecta aproximadamente a tres nacidos vivos de cada mil en países desarrollados (Raya et al., 2015), y de tres a cinco casos por mil en países en desarrollo (Child, 2016).

La parálisis cerebral describe un grupo de trastornos del desarrollo del movimiento y la postura, causantes de limitación en la actividad, que se atribuyen a trastornos no progresivos que ocurrieron en el cerebro fetal o infantil en desarrollo (Bax et al., 2005). Además, la parálisis cerebral es considerada un trastorno neurológico causado por una lesión cerebral no progresiva o malformación que se produce mientras el cerebro del niño se encuentra en desarrollo (Child, 2016). Los trastornos motores de la parálisis cerebral están a menudo acompañados por alteraciones de la sensación, percepción, cognición, comunicación y conducta.

Tomando como criterio el tono muscular o el déficit en el movimiento que sufre una persona, la parálisis cerebral puede ser clasificada como espástica, discinética, atáxica o mixta (Child, 2016). Espástica es el tipo

más común de parálisis cerebral (alrededor del 70% de las personas con dicha discapacidad presentan espasticidad), que es el término médico para referirse a un determinado tipo de aumento de tono muscular que provoca rigidez muscular, y se origina por daño en la corteza cerebral motora. La discinética se caracteriza por una fluctuación, cambio brusco del tono muscular y presencia de movimientos involuntarios como distonía, atetosis o corea (menos del 10% de las personas padecen de este tipo de parálisis). La atáxica se caracteriza por movimientos no coordinados (menos del 10% de las personas padecen de este tipo de parálisis) y afecta el equilibrio y el sentido de la posición en el espacio, haciendo que la persona presente síndrome de desequilibrio corporal, dificultades en la coordinación y control de las manos y de los ojos; y se origina por daño en el cerebelo. La mixta se da cuando se presentan dos o más tipos de parálisis cerebral, y se produce cuando el cerebro presenta lesiones en varias de sus estructuras; en general, no se presentan manifestaciones en sus formas puras (espástica, discinética y atáxica), sino que existen combinaciones.

La parálisis cerebral también puede afectar diferentes partes del cuerpo (Waters, 2013): 1) Cuadriplejía: es la forma más grave, en la cual los individuos presentan afectación de las cuatro extremidades (también se conoce como tetraplejía). 2) Diplejía: es la forma más frecuente, y presenta afectación de predominio en las extremidades inferiores, y las extremidades superiores pueden estar afectadas en menor medida. 3) Hemiplejía: se produce cuando la discapacidad se presenta únicamente en la mitad izquierda o derecha del cuerpo (un brazo y una pierna), casi siempre con mayor compromiso de la extremidad superior.

Las clasificaciones comúnmente utilizadas para identificar el nivel funcional de niño con parálisis cerebral (Hidecker et al., 2012) son el Sistema de Clasificación de la Función Motora Gruesa (*Gross Motor Function Classification System* - GMFCS)(Palisano et al., 2008), el Sistema de Clasificación de la Habilidad Manual (*Manual Ability Classification System* - MACS)(Eliasson et al., 2006) y el Sistema de Clasificación de Comunicación Funcional (*Communication Function Classification System* - CFCS) (HIDECKER et al., 2011).

El GMFCS para la parálisis cerebral está basado en el movimiento auto-iniciado por el niño con énfasis en la sedestación (control del tronco), las transferencias y la movilidad. El sistema de clasificación consta de cinco niveles y la diferencia entre cada uno de los niveles de función motora se basan en las limitaciones funcionales, la necesidad de ayuda tecnológica, incluyendo aparatos para el desplazamiento (como caminadores, muletas, y bastones), la movilidad en silla de ruedas, y hasta cierto punto la calidad del movimiento (Figura 1). Las generalidades de cada nivel son: nivel I: camina sin restricciones; nivel II: camina con limitaciones; nivel III: camina utilizando un dispositivo manual auxiliar de la marcha; nivel IV: auto-movilidad limitada (es posible que utilice movilidad motorizada); y nivel V: transportado en silla de ruedas. Así mismo, la clasificación es separada por edades, especialmente para distinguir los niveles en las

edades de crecimiento del niño, así: antes de dos años, entre dos y cuatro años, entre cuatro y seis años, entre seis y doce años, y entre doce y dieciocho años (Palisano et al., 2008).

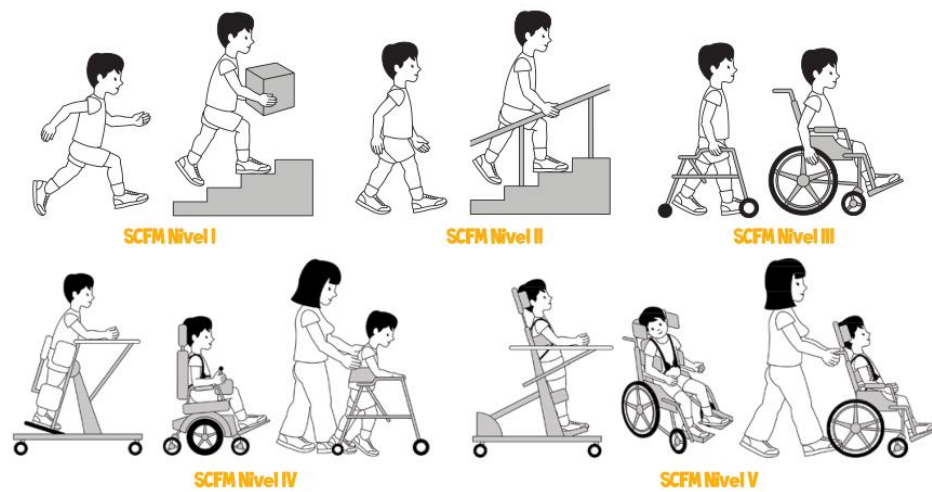


Figura 1. Sistema de Clasificación de la Función Motora Gruesa [Copyright Version 2 © Bill Reid, Kate Willoughby, Adrienne Harvey and Kerr Graham, The Royal Children's Hospital Melbourne].

El MACS para parálisis cerebral describe cómo los niños con parálisis cerebral usan sus manos para manipular objetos en las actividades diarias. MACS describe cinco niveles y se basan en la capacidad del niño para auto-iniciar la habilidad para manipular objetos y su necesidad de asistencia o de adaptación para realizar actividades manuales en la vida cotidiana. Además, MACS enfatiza las diferencias entre los niveles adyacentes para que sea fácil determinar qué nivel se corresponde mejor con la capacidad del niño para manipular objetos. Los objetos a que se refiere son aquellos que son relevantes y apropiados a la edad de los niños, los que se usan cuando se realizan tareas tales como comer, vestirse, jugar, dibujar o escribir. Igual que en la escala anterior, MACS presenta cinco niveles, así: nivel I: manipula objetos fácil y exitosamente; nivel II: manipula la mayoría de los objetos pero con un poco de reducción en la calidad y/o velocidad del logro; nivel III: manipula los objetos con dificultad (necesita ayuda para preparar y/o modificar actividades); nivel IV: manipula una limitada selección de objetos fácilmente manipulables en situaciones adaptadas; nivel V: no manipula objetos y tiene habilidad severamente limitada para ejecutar aún acciones sencillas (Eliasson et al., 2006).

El propósito del CFCS es clasificar el desempeño de la comunicación cotidiana de un individuo con parálisis cerebral en uno de cinco niveles. El CFCS se centra en niveles de actividad y participación como se describe en la Clasificación Internacional del Funcionamiento la Discapacidad y de la Salud de la Organización Mundial de la Salud. Las generalidades de cada nivel son: nivel I: emisor eficaz y receptor eficaz con interlocutores conocidos y desconocidos; nivel II: emisor eficaz y/o receptor eficaz, pero con ritmo lento con interlocutores conocidos y desconocidos; nivel III: emisor eficaz y receptor eficaz con interlocutores

conocidos; nivel IV: emisor inconstante y/o receptor inconstante con los interlocutores conocidos; y nivel V: emisor raramente eficaz y receptor raramente eficaz con interlocutores conocidos (HIDECKER et al., 2011).

2.3.1 Tratamiento para niños con parálisis cerebral

El tratamiento de la parálisis cerebral es casi tan complejo como es la condición, y no existe un protocolo universal, ya que cada persona está afectada de manera diferente. Aunque no existe un enfoque estándar, la forma de la parálisis cerebral, la extensión del daño y el nivel de gravedad permiten determinar el tratamiento y proceso de rehabilitación. A pesar de que la lesión cerebral que causa parálisis cerebral no se puede curar, el deterioro físico resultante puede ser manejado con una amplia gama de tratamientos y terapias. Dentro de un plan de tratamiento coordinado e integral, la terapia desempeña un papel importante en la gestión de la discapacidad física, la optimización de la movilidad y la calidad de vida (Child, 2016).

La terapia física, ocupacional y de lenguaje, junto con el equipo de adaptación, presentan el mayor número de intervenciones efectivas para el tratamiento para niños con parálisis cerebral, además de la terapia con medicamentos e intervenciones quirúrgicas (Novak et al., 2013). El objetivo primordial de la terapia es prevenir la presencia de complicaciones secundarias, como el incremento de la espasticidad, la presencia de contracturas y deformidades, y facilitar una mejor calidad de vida mediante el fomento de la funcionalidad, el cuidado personal y la independencia (Howard, 2013). Además, si la terapia se aplica como parte de un tratamiento de intervención temprana, cuando la persona está en desarrollo, los procesos terapéuticos ejercen beneficios emocionales, académicos y sociales. Las intervenciones terapéuticas para los niños con parálisis cerebral deben ser planificadas, realizadas y validadas por un equipo interdisciplinario que identifique las habilidades y restricciones del niño e involucre a la familia para la toma de decisiones en los tratamientos (Colver, Fairhurst, & Pharoah, 2014). En el equipo interdisciplinario, cada especialista debe tener objetivos específicos relacionados con la condición única de cada individuo. Así mismo, estos tratamientos deben establecer objetivos a corto, mediano y largo plazo.

En las últimas décadas, la filosofía de tratamiento para niños con parálisis cerebral ha experimentado un cambio gradual de "normalización" a "optimización" (Brogren Carlberg & Löwing, 2013). Existe una divergencia entre tratar de hacer que el cuerpo del niño funcione con mayor normalidad (normalización) y aceptar a la persona tal como es y concentrarse en actividad funcionales con ajustes ambientales (optimización). Existen muchas terapias disponibles, pero existe poca evidencia sobre cual elegir. La normalización de la condición física en la infancia solo logra pequeñas mejoras en la función motora, las cuales luego se pierden; incluso estas no se mantienen más allá de pocos meses o se pierden a medida que el niño crece.

Los adultos con parálisis cerebral afirman que su participación en la vida no depende de poder caminar, sino de la comunicación y de poder administrar y controlar su entorno (Colver et al., 2014). Este concepto implica un alejamiento de la idea de normalizar los movimientos de los niños hacia una filosofía de tratamiento en la que se alienta al niño a contribuir activamente en estrategias de movimiento que permitan la participación en actividades cotidianas, que son consideradas importantes por el niño y su familia, como actividades de la vida diaria, el cuidado personal, el juego, la higiene, la alimentación y tareas que requieren un control motor preciso, como escribir o dibujar. Este enfoque centrado en actividades funcionales (u orientadas a tareas) se basa en las teorías contemporáneas del aprendizaje motor, y algunos estudios afirman que se han obtenido mejores resultados siguiendo este enfoque (Ketelaar, Vermeer, Hart, van Petegem-van Beek, & Helders, 2001). Así mismo, el establecimiento de objetivos combinado con intervenciones centradas en la actividad demostró un mejor efecto en las actividades cotidianas de los niños con parálisis cerebral (Brogren Carlberg & Löwing, 2013).

2.4 Robótica de Asistencia

Antes de presentar el objetivo de la robótica de asistencia, primero se define el concepto de tecnología de rehabilitación para identificar el impacto y origen de esta nueva línea de aplicación de las tecnologías el área de la rehabilitación. La tecnología de rehabilitación es la aplicación sistemática de las tecnologías, metodologías de ingeniería o principios científicos para satisfacer las necesidades de los obstáculos que enfrentan las personas con discapacidad en áreas que incluyen la educación, la rehabilitación, el empleo, el transporte, la vida independiente y la recreación. El término incluye la ingeniería de rehabilitación, dispositivos y servicios de asistencia tecnológica.

Según lo anterior, la tecnología de rehabilitación se puede concebir como el conjunto de productos y conocimientos desarrollados desde avances tanto en la ingeniería de la rehabilitación como en las profesiones y disciplinas que estudian el fenómeno de la discapacidad. En este orden de ideas, la tecnología en rehabilitación no sólo estudia lo relacionado con el desarrollo y la producción de instrumentos, equipos, sistemas o dispositivos que contribuyan a procesos de rehabilitación, sino que se interesa, además, por el impacto de estos elementos en el desempeño y la capacidad funcional de las personas con discapacidad, en el acceso de estas personas y sus familias a los adelantos tecnológicos, y en el nivel de uso que se les da, además de lo relacionado con la accesibilidad y el diseño (Martínez Matheus & Ríos Rincón, 2006).

El objetivo de la robótica de asistencia en la rehabilitación es investigar la aplicación de la robótica en procedimientos terapéuticos para lograr una recuperación funcional en áreas motora y cognitiva para personas en condición de discapacidad (Johnson et al., 2008). Los robots de asistencia constituyen una nueva categoría de robots que involucra conceptos del área de la rehabilitación e interactúan con humanos. Así mismo, es un

campo de investigación dedicado a comprender y aumentar la rehabilitación a través de la aplicación de sistemas robóticos. Esto incluye el desarrollo de dispositivos diseñados para asistir en funciones motoras, el desarrollo de los esquemas de asistencia a la formación terapéutica, y la evaluación del desempeño de cada individuo. Además, los robots de asistencia realizan tareas para ayudar a personas en condición de discapacidad a reemplazar la pérdida de la función corporal, brindar asistencia en la terapia, y promover actividades para desarrollar habilidades motoras y cognitivas (Shamsuddin et al., 2014).

Los robots ofrecen exactitud y adaptabilidad a las necesidades del individuo, permitiendo un mayor número de repeticiones de entrenamiento de una tarea durante una sesión de terapia y se pueden llevar a cabo en un entorno controlado y en condiciones reproducibles. Las terapias a través de robots de asistencia también proporcionan medidas objetivas y cuantitativas que permiten monitorear el progreso de la persona en el tratamiento (Lambrecht, Urra, Grosu, & Nombela, 2014). De la misma forma, la robótica como modelo de asistencia para la rehabilitación promete ser una herramienta valiosa para el paciente, su familia y el terapeuta.

La asistencia en rehabilitación utilizando la robótica es generalmente bien recibida por los pacientes y ha demostrado ser un complemento motivador en personas que sufren deficiencias motoras (Al Cook et al., 2010), (Kommu, 2012), (Howard, 2013). Además, existe evidencia donde las terapias orientadas a tareas intensivas facilitan la recuperación motora a través de la capacidad del sistema nervioso central para reorganizar respuestas a diferentes estímulos, lo que se conoce como neuroplasticidad (Pajaro Blázquez, 2013). La intensidad y la especificidad del entrenamiento han demostrado ser factores importantes de una mejor plasticidad neuronal y la recuperación motora en trastornos del sistema nervioso central.

2.5 Antecedentes

El propósito de esta sección es presentar los principales trabajos de robots de asistencia en niños con parálisis cerebral. Se identificaron robots que promueven, motivan y adhieren a los niños a participar en actividades para el desarrollo de funciones motoras, cognitivas, sensoriales y sociales. Dentro de esta categoría se encuentran robots de asistencia para promover para el desarrollo de habilidades motoras y cognitivas.

La robótica de asistencia se ha referido principalmente a robots que ayudaron y asisten a personas con discapacidades a través de la interacción física. Según (Feil-seifer & Matari, 2005), esta definición no cubre los robots de asistencia que ayudan a través de la interacción sin contacto. Este tipo de robots se pueden incluir en el área de la robótica de asistencia interactiva, que describe a robots cuya tarea principal es alguna forma de interacción para ayudar a personas en condición de discapacidad (Fong & Nourbakhsh, 2003).

También existen los robots de asistencia social, cuyo objetivo es proporcionar asistencia a los humanos a través de la interacción social (Feil-seifer & Matari, 2005). Más allá de las capacidades básicas de moverse y actuar de forma autónoma, la robótica de asistencia social se ha centrado en el uso del componente físico del robot para comunicarse e interactuar con los usuarios de una manera social y atractiva (Tapus et al., 2013). Además de crear una interacción cercana y efectiva con un usuario humano para brindar asistencia y lograr un progreso en rehabilitación, los robots de asistencia social están siendo diseñados para aprovechar sus atributos, físicos, sociales, afectivos e interactivos para mantener el compromiso y la motivación para así motivar, entrenar, supervisar, educar o facilitar la comunicación en los procesos de asistencia o de rehabilitación para obtener mejores resultados (Feil-seifer & Matari, 2005).

Uno de los primeros trabajos realizados en el campo de los robots de asistencia fue el desarrollado en (Howell, 1989), que buscaba fomentar el desarrollo cognitivo, afectivo y psicomotor en estudiantes con discapacidades motoras severas. Durante este trabajo, siete niños aprendieron a utilizar un brazo robótico para recoger, colocar, examinar y manipular artículos educativos y domésticos. Se derivaron resultados que identificaron problemas en la accesibilidad y el diseño de software.

De la misma forma, en (Kwee & Quaedackers, 1999) se utilizó el Manipulador Manus para trabajos de asistencia de manipulación, como una herramienta de ayuda para niños y adultos jóvenes con parálisis cerebral entre 7 a 29 años. Los resultados iniciales mostraron la viabilidad de la realización de diversas tareas de manipulación. Interfaces de acceso tales como pulsadores, teclados y joysticks fueron investigados para el control del manipulador.

En el estudio piloto desarrollado por (A. M. Cook, Meng, Gu, & Howery, 2002), cuatro niños con parálisis cerebral interactuaron con el robot CRS A465 a través de interruptores para realizar tareas de agarrar objetos y generar un ambiente de comunicación entre el robot y el niño. Los niños pudieron realizar tareas secuenciales de hasta tres pasos, y se involucraron activamente en las tareas relacionadas con el juego y el robot, siendo que en (A Cook, Howery, Gu, & Meng, 2000) se presentaron los aspectos técnicos del robot. El estudio realizado en (A. M. Cook et al., 2005), que incluía a doce niños con discapacidades físicas entre 6-14 años de edad, mostró resultados preliminares que indicaban una mejora en todos los niños para el control operativo del robot manipulador Rhino XR-4, que se tradujo en resultados positivos en el desarrollo de habilidades funcionales en tareas en el entorno escolar, juego, como participación en el aula, lenguaje expresivo (vocalizaciones, comunicación simbólica) y un alto grado de interés en las tareas del robot.

PlayROB es un robot cartesiano de 3 grados de libertad que fue diseñado para permitir a niños con discapacidades físicas la posibilidad de manipular y jugar con ladrillos LEGO® (Kronreif et al., 2005). El robot es controlado por diferentes métodos de acceso con el fin de involucrar diferentes características

demográficas de los niños con discapacidad, utilizando un dispositivo de 5 interruptores de entrada, un joystick y un interruptor para ser activado por medio de la cabeza. El sistema fue evaluado en un estudio de dos años que involucró a niños en tres instituciones austriacas (Kronreif, Prazak-Aram, Kornfeld, Hochgatterer, & Fürst, 2007). Los autores afirman que en los datos resultantes se evidencia, preliminarmente, que a través del uso del robot existe un aumento del tiempo de permanencia en las actividades, en la concentración de los niños y en la percepción espacial. Además, el sistema se ofrece como una herramienta de formación para aprender a interactuar con diferentes dispositivos de acceso.

Los sistemas LEGO® *Mindstorms* son sistemas que han sido utilizados como robots de asistencia para niños con discapacidades (Figura 2). Uno de los primeros trabajos fue el realizado por (Schulmeister, Wiberg, Adams, Harbottle, & Cook, 2006), donde usaron el *Mindstorms Robotic Invention System*™ como una herramienta facilitadora de aprendizaje para un niño con discapacidad física en actividades interactivas de juego. En (A Cook et al., 2011), también usaron robots de asistencia con el sistema LEGO® para demostrar conceptos cognitivos en niños con discapacidades. Diez niños, entre 4 y 10 años de edad, diagnosticados con parálisis cerebral participaron en este trabajo. Se evidenció que los niños estaban interesados en el robot, interactuando y demostraron cambios de comportamiento y en sus habilidades sociales y lingüísticas.



Figura 2. Niña interactuando con un Robot Lego® (Al Cook et al., 2010).

Controlar un robot LEGO® a través de un Dispositivo Generador de Voz (Speech-Generating Device - SGD) se presentó en (ADAMS & ENCARNAÇÃO, 2011)(Adams & David, 2013), que describe un protocolo de entrenamiento para realizar diferentes tareas. En este trabajo, tres niños con parálisis cerebral se entrenaron para controlar el robot con un SGD manipulando elementos, tareas de comunicación y comprensión de conceptos matemáticos utilizando el robot. De la misma forma se usó un sistema de Comunicación Alternativa y Aumentativa (Augmentative and Alternative Communication - AAC) en el trabajo realizado por (Adams et al., 2013), donde se entrenó la técnica de escaneo (switch scanning) para participar en actividades escolares y de juego. Se usaron dos interruptores Jelly Bean®, el sistema AAC y el robot LEGO® Mindstorms NXT 2.0 para llevar a cabo estas actividades.

Así mismo, se realizó un caso de estudio en (Adams & Cook, 2016) donde participó una niña de 12 años con necesidades complejas de comunicación y limitaciones físicas severas. La niña controlaba un robot LEGO® desde un SGD para realizar varias actividades académicas. El control del robot a través de SGD presentó oportunidades para mejorar habilidades operativas, lingüísticas, sociales y estratégicas para la comunicación aumentativa y alternativa.

Otro estudio realizado por (Pedro Encarnação, Piedade, Adams, & Cook, 2012)(Pedro Encarnação et al., 2014) describe que niños con desarrollo típico y niños con parálisis cerebral utilizaron un robot físico y un robot virtual como una herramienta para realizar actividades de juego. Este estudio reveló que el rendimiento en las actividades tanto para el robot físico como para el robot virtual fue similar. Cabe resaltar que los niños con parálisis cerebral eran nivel II en el GMFCS.

El trabajo realizado por (Lins, de Oliveira, Rodrigues, & de Albuquerque, 2018) presenta el uso de un robot LEGO® Mindstorms EV3 para terapias de rehabilitación de los niños con parálisis cerebral. El objetivo era la coordinación motora, la cognición, la memoria y el nivel de atención de los niños. La interacción entre el niño y el robot se realizaba a través de una aplicación Android instalada en un teléfono inteligente. Cinco niños fueron sometidos a varias sesiones con el robot, durante un período de dos meses. Se concluyó que el robot puede ser una herramienta complementaria en el tratamiento de esos niños.

CosmoBot™ es un robot comercialmente disponible que fue diseñado como herramienta de interacción para promover actividades educativas, terapéuticas y de juego para niños con y sin discapacidad (Brisben et al., 2005). El sistema de CosmoBot cuenta con diferentes interfaces de acceso para adaptarlas en las extremidades superiores de los niños, que permiten el control del robot y realimentación sensorial de movimientos, además de un módulo software con actividades para terapia (Anthrotronix, 2014). CosmoBot puede llevar a cabo sesiones de terapia con niños con parálisis cerebral, permitiendo mejorar la fuerza, la coordinación, la amplitud de movimiento y la destreza en las extremidades superiores. Con este robot se realizó un estudio con 6 niños con parálisis cerebral (4 y 10 años) (Figura 3), que recibían terapia física y ocupacional para reducir los déficits motores de sus extremidades superiores (Wood, Lathan, & Kaufman, 2009). El estudio indicó que debido a la influencia de la motivación de CosmoBot, los niños cumplieron los objetivos terapéuticos con mayor eficacia, en comparación con intervenciones terapéuticas que actualmente dispone el terapeuta.



Figura 3. Sistema CosmoBot™ en terapia (Brisben et al., 2005).

Otro robot diseñado para actividades de juego y terapia es el robot IROMEC (Interactive RObotic social MEdiators as Companions), desarrollado entre el año 2006 y 2009 en un proyecto Europeo (IROMEC, 2009). El objetivo del proyecto es investigar cómo los robots pueden ser mediadores sociales para que niños participen en actividades de juego, debido a deficiencias cognitivas, físicas o del desarrollo (Besio & Caprino, 2009) (Patrizia, Claudio, Leonardo, & Alessandro, 2009). El robot es diseñado para involucrar a tres características demográficas de los niños: niños con autismo, niños con discapacidades cognitivas y niños con discapacidades motoras severas, para interactuar en diversos escenarios de juego sociales y cooperativos (Marti, Giusti, & Pollini, 2009)(Caprino & Laudanna, 2009). Un resultado importante de este proyecto es un conjunto de diez escenarios de juego desarrollados por los diferentes grupos de usuario. Cinco de estos escenarios se llevan a la práctica con el robot: toma de turnos, recompensa sensorial, hacer que se mueva, sígueme y tócame (Robins, Ferrari, & Dautenhahn, 2008).

Las características importantes del robot son el uso de sensores de distancia y una cámara para detectar obstáculos y detectar personas, una pantalla táctil en la parte posterior, la capacidad de moverse (autónoma y controlada), una pantalla digital como una cara, la producción de sonidos y un control inalámbrico por interruptores. En la Figura 4 se muestra el robot IROMEC en interacción con un niño a través de una pantalla táctil. El robot IROMEC está diseñado para ayudar en el desarrollo de cuatro tipos de juegos: juego sensorial, juego simbólico, juego constructivo y juego basado en reglas. En (Patrizia et al., 2009) se realizaron ensayos con un prototipo original que involucró a cinco niños con diferentes discapacidades, entre 6 y 11 años. Aunque el análisis de datos cuantitativos específicos no se han reportado de manera formal, la evidencia anecdótica muestra resultados positivos con respecto a la facilidad de uso, adecuación respecto a los objetivos de aprendizaje y aceptación del usuario (Caprino, Besio, Laudanna, & Cappuccini, 2010).



Figura 4. Robot IROMEC interactuando con un niño (Besio & Caprino, 2009).

Además, con IROMEC se evaluó la capacidad que tienen los niños con discapacidades motoras para iniciar y mantener actividades de juego (*playfulness*) en sesiones de terapia ocupacional (Bernd, Gelderblom, Vanstipelen, & Witte, 2010)(Klein, Gelderblom, Witte, & Vanstipelen, 2011)(Besio, Carnesecchi, & Converti, 2013). Estos trabajos presentaron resultados satisfactorios, donde reportan que los niños se sentían motivados y activos en las sesiones de terapia.

Actualmente, el desarrollo de robots humanoides y sus altas capacidades de movimiento en las extremidades superiores e inferiores (grados de libertad) han favorecido su uso en terapias para realizar tareas de motivación y participación en ejercicios físicos. Los robots han sido diseñados para dirigirse a los niños de manera interactiva para enseñar y animarlos a continuar con sus ejercicios de la terapia (Plaisant et al., 2000), siendo un medio eficaz para captar su atención y crear un entorno agradable.

En algunos estudios se han utilizado robots humanoide como una herramienta para lograr objetivos en la educación a través de la interacción social con el robot (Fridin, 2014)(Keren, Ben-David, & Fridin, 2012). También han sido utilizados en intervenciones para la interacción en niños con autismo (Yusuf et al., 2012)(Fujimoto, Matsumoto, S. De Silva, Kobayashi, & Higashi, 2010)(Shamsuddin et al., 2012). En estos estudios, este tipo de robots han demostrado ser una herramienta útil para generar niveles de atención en los niños, así mismo, ser un mediador en procesos de enseñanza-aprendizaje.

Zeno es un robot humanoide que ha sido diseñado como una herramienta para mejorar el interés y motivar a los niños con parálisis cerebral y niños con autismo, generando una mayor participación interactiva en sesiones de terapia (Ranatunga, Rajruangrabin, Popa, & Makedon, 2011).

El proyecto THERAPIST (*An autonomous and socially interactive robot for motor and neurorehabilitation therapies*) (THERAPIST, 2013) es reconocido por un grupo de investigadores que vienen trabajando con robots interactivos en procesos terapéuticos para niños con parálisis cerebral. Este proyecto es un consorcio de varias instituciones españolas que han desarrollado un robot en forma de oso, llamado URSUS para la

realización de ejercicios repetitivos (Calderita et al., 2013). También han usado el robot humanoide NAO (Alderaban, 2014) para ejercicios de rehabilitación en miembros superiores (González, Pulido, Fernández, & Suárez-Mejías, 2015)(Martín et al., 2015). Este proyecto realizó pruebas con usuarios para validar la funcionalidad técnica del robot y su arquitectura software (González et al., 2017). Este grupo de investigadores reportó el uso de estos robots como una herramienta para el aprendizaje a través de la imitación con pacientes pediátricos (Pulido et al., 2017).

De la misma forma, en el Centro Universitario Ariel (Ariel University Center) en Israel han desarrollado el proyecto llamado "*Robotics Agent Coacher for CP Motor Function*" para ayudar a los niños con parálisis cerebral para mejorar su función motora en actividades de la vida diaria usando el robot humanoide NAO (Fridin & Belokopytov, 2014). Este trabajo presentó la arquitectura hardware y software, escenarios y el diseño arquitectónico, además pruebas piloto con usuarios de desarrollo típico.

En el Center for Humanoid Robots and Bio-Sensing (HuRoBs) de la Universidad Tecnológica de MARA (Universiti Teknologi MARA (UiTM)) también han utilizado el robot humanoide NAO (Alderaban, 2014) para mejorar el aprendizaje motor en niños con parálisis cerebral (ver Figura 5). En (Norjasween Abdul Malik, Yussof, Hanapiah, et al., 2014) y (Norjasween Abdul Malik, Yussof, & Hanapiah, 2014) se reporta el caso de cuatro niños con parálisis cerebral interactuando con el robot NAO en cuatro escenarios interactivos para realizar ejercicios motrices en terapia. Los escenarios son: 1) Relación introductoria; 2) Transición de sentarse y levantarse; 3) Balance y 4) Pateando el balón. Se realizó el mismo uso de los cuatro escenarios interactivos con dos niños con parálisis cerebral, quienes mostraron respuestas positivas en el aprendizaje por imitación (Rahman et al., 2015) (Norjasween Abdul Malik et al., 2017).



Figura 5. Robot NAO en un escenario interactivo (Rahman et al., 2015).

Finalmente, en la Tabla 1 se presentan los principales trabajos donde se han realizado intervenciones a través de robots de asistencia para niños con parálisis cerebral y se incluyen los nombrados hasta ahora y otros. El objetivo es clasificar e identificar sus principales características. Esta clasificación se realiza teniendo en cuenta el tipo de robot y las interfaces de acceso para la interacción con el robot. Además, se identifican las tareas realizadas en cada trabajo, las variables de medición y los resultados.

Tabla 1. Robots usados en intervenciones para niños con parálisis cerebral.

Estudio	Muestra	Robot	Interfaz de Acceso/Interacción	Tareas	Variables de Medición	Resultados
(A. M. Cook et al., 2002)	4	Robot Arm CRS A465	Botones. Interruptores. Teclados. Puntero láser.	Tareas secuenciales en tres niveles	Aspectos técnicos del robot Comunicación entre el robot y el niño	Los niños utilizaron el sistema y realizaron tareas secuenciales de tres pasos. Los niños estaban comprometidos con las tareas.
(A Cook et al., 2011)	10	Lego Mindstorms Robotic Invention System™	Interruptores. Infrarrojo para comunicación con el robot.	Tareas funcionales en niveles	Estimación de habilidades cognitivas.	Cambios en el comportamiento y las habilidades sociales y lingüísticas en los niños.
(ADAMS & ENCARNÇÃO, 2011), (Adams & David, 2013)	3	Lego Mindstorms Robotic Invention System™	SGD. Infrarrojo para comunicación con el robot.	Control del robot, manipulación y comunicación.	Tiempo la actividad.	La precisión con el control del robot disminuyó y el tiempo aumentó a medida que las pruebas se volvieron más difíciles al agregar más obstáculos, manipulación y comunicación utilizando un dispositivo generador de voz.
(Adams et al., 2013)	2	Lego Mindstorms ® NXT 2.0	AAC. Interruptores Jelly Bean®. Bluetooth.	Método de escaneo (switch scanning) para controlar el robot a través de los interruptores.	Interacción con un robot (el éxito de los participantes en las pruebas y la cantidad de indicaciones necesarias).	Los participantes disfrutaron haciendo girar el robot (más que intentar lograr la tarea objetivo).
(Adams & Cook, 2016)	1	Lego Mindstorms ® NXT 2.0	SGD.	Control del robot, manipulación y comunicación.	Satisfacción del niño Habilidades cognitivas (capacidad para controlar un robot usando un dispositivo generador de voz)	El uso de robots podría ayudar a los niños en sus habilidades operativas para controlar los dispositivos generadores de habla y a aprender conceptos de matemáticas y estudios sociales.
(Pedro Encarnação et al., 2012)(Pedro Encarnação et al., 2014)	9	Lego Mindstorms ® NXT 2.0	Interruptores Jelly Bean®.	Tareas funcionales en niveles	Habilidades cognitivas para controlar el robot	El rendimiento en las actividades tanto para el robot físico como para el robot virtual fue similar
(Lins et al., 2018)	5	Lego Mindstorms ® EV3	Dispositivo móvil	Tareas secuenciales	Habilidades motoras y cognitivas	El uso de robots Lego como herramienta auxiliar para niños con parálisis cerebral estimula la motricidad y la cognición.
(Brisben et al., 2005).	6	CosmoBot™ Anthrotronix	Cuatro Interruptores. Joystick, sensores	Misión de control para	Facilidad de uso de la	Usabilidad, motivación del

			gestuales para cabeza, brazo y pierna, guante de extensión de muñeca y sensor para brazo con restricción para ejercicios de pronación/supinación.	actividades con extremidades superiores.	tecnología. Motivación. Eficacia de la tecnología.	niño y eficacia de la tecnología a través de observaciones clínicas. Mejorar la fuerza, la coordinación, la amplitud de movimiento y la destreza de las extremidades superiores.
(Bernd et al., 2010) (Klein et al., 2011) (Besio et al., 2013)	6	IROMECE	Interruptores inalámbricos, pantalla táctil.	Participación en actividades de juego	Usabilidad ToP (Test of Playfulness) Cuestionario basado en (ICF-CY)	El robot influyó en el nivel de juego. El robot agregó valor a la terapia, pero no mucho al logro de la meta con los participantes.
(Calderita et al., 2013) (González et al., 2015) (Martín et al., 2015) (Pulido et al., 2017)	3	Robot URSUS Robot NAO	Kinect Sensor gesticular	Ejercicios con extremidades superiores	Quality of Upper Extremity Skills Test (QUEST) Proponen medir objetivos con GAS (Goal Attainment Scaling)	La experiencia con el robot NAO fue agradable y motivante en las sesiones de prueba.
(Norjasween Abdul Malik, Yussof, Hanapiah, et al., 2014), (Norjasween Abdul Malik, Yussof, & Hanapiah, 2014)	4	Robot NAO	Indicaciones verbales	Ejercicios de entrenamiento e imitación	Gross Motor Function Measure (GMFM). Trail Making Test. Timed Up and Go test (TUG).	Escenarios interactivos que motivaron a los niños a realizar los ejercicios.
(Xu, Bryant, Chen, & Howard, 2018)	9	Robot NAO	Indicaciones verbales	Ejercicios con extremidades superiores	IMI (intrinsic motivation inventory)	Los resultados mostraron mejoría en el desempeño motor en los participantes que usaron el robot.
(Rahman et al., 2015), (Norjasween Abdul Malik et al., 2017)	2	Robot NAO	Indicaciones verbales	Ejercicios de entrenamiento e imitación	Gross Motor Functional Measure (GMFM).	Los niños mostraron respuestas positivas en el aprendizaje por imitación.

A partir de la revisión y la síntesis de la Tabla 1, se identificaron trabajos que usaron los sistemas LEGO® Mindstorms como robots de asistencia con interruptores y sistemas de comunicación que actuaban como interfaces de acceso para el control y la interacción entre el robot y el niño. En estos trabajos, los principales objetivos fueron: la identificación de habilidades cognitivas, el desarrollo de habilidades para actividades académicas y la promoción de habilidades relacionadas con el juego. En (A Cook et al., 2011) (Al Cook et al., 2010) se presentaron la relación de estas habilidades con las actividades que puede realizar un robot. Las habilidades fueron: sin interacción, causalidad, negación, lógica binaria, coordinación de múltiples variables, juego simbólico y resolución de problemas.

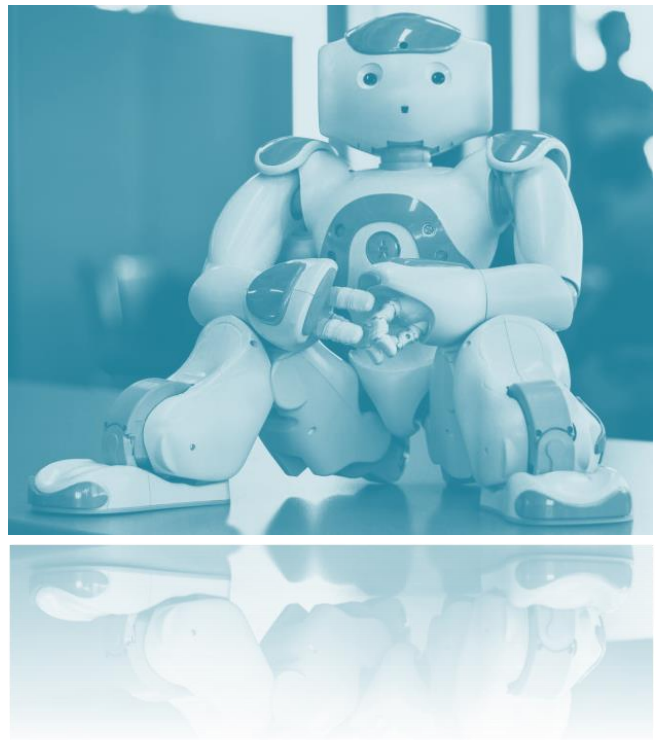
Así mismo, se identificó el robot IROMEC que fue utilizado para actividades de juego en terapia y el contexto educativo. Se resalta de este trabajo la propuesta metodológica para el uso del robot la cual propuesta presenta 5 fases (Besio & Caprino, 2009): 1) Análisis de factores críticos individuales, 2) Análisis de los factores críticos relacionados con el contexto, 3) Selección de posibles objetivos, 4) Definición de escenarios de juego y 5) Definición de las características del robot.

Por último, los robots COSMOBOT y NAO son robots de asistencia en forma de humanos que fueron utilizados en intervenciones terapéuticas para niños con parálisis cerebral. El robot COSMOBOT es un robot tipo juguete que se utilizó para mejorar la fuerza, la coordinación y el movimiento en las extremidades superiores de los niños. El robot NAO es un robot que tiene la forma de un niño y fue utilizado como un factor motivador para la realización de ejercicios motores. El robot intervenía en la terapia, generando órdenes como entrenador para los ejercicios.

2.6 Conclusiones del capítulo

Este capítulo presentó un marco teórico sobre la parálisis cerebral y su tratamiento terapéutico con niños. Para estos tratamientos existen fundamentalmente dos enfoques: la normalización de la calidad del movimiento y la optimización de actividades funcionales. El segundo enfoque, es decir, la optimización, promueve actividades centradas en objetivos. Este enfoque combinado con la terapia física, ocupacional y de lenguaje, es uno de los tratamientos y mecanismos más efectivos para apoyar el desarrollo de los niños con parálisis cerebral en áreas del funcionamiento motor, cognitivo, sensorial, comunicacional, social y emocional (Novak et al., 2013).

También se realizó una revisión de los antecedentes de robots de asistencia interactivos y sociales utilizados en niños con parálisis cerebral. En la Tabla 1 se sintetizaron las principales aplicaciones de estos robots de asistencia utilizados en niños con parálisis cerebral. A partir de esta revisión y el análisis realizado en la sección anterior, se identificó que los robots contruidos con sistemas LEGO® y robots humanoides ofrecen diferentes configuraciones para realizar intervenciones terapéuticas interactivas para niños con parálisis cerebral.



Capítulo 3. Propuesta Metodológica OTERA-NPC

3.1 Introducción

El objetivo de este capítulo es presentar la propuesta metodológica para promover el cumplimiento de **Objetivos TE**rapéuticos a través de **Robots de Asistencia** para Niños con **Parálisis Cerebral**: **OTERA-NPC**. La propuesta está sustentada en cuatro pilares: (1) la definición de los objetivos terapéuticos que se plantean como **Objetivos SMART** (*Specific, Measurable, Achievable, Realistic and Timed*); (2) la valoración y evaluación de los objetivos que se realizan con la **Escala de Medición de Objetivos** (*Goal Attainment Scaling - GAS*); (3) la propuesta de un enfoque terapéutico dirigido a objetivos (*Goal-Directed functional Therapy - GDT*); y (4) un enfoque de **Diseño Centrado en el Usuario** (*User-Centered Design - UCD*) para construir las aplicaciones en los robots de asistencia.

En la Figura 6 se presenta el contexto de la intervención terapéutica que involucra a niños con parálisis cerebral, terapeutas y robots de asistencia. En esta figura los pilares están relacionados con este contexto así: los objetivos SMART y Escala de Medición de Objetivos están relacionados con la intervención terapéutica para el niño con parálisis cerebral; el Diseño Centrado en el Usuario es el enfoque de diseño de las aplicaciones en los robots de asistencia; y la Terapia Dirigida a Objetivos es la forma en que propone desarrollar la intervención terapéutica. A continuación se presentan los fundamentos de estos cuatro pilares.

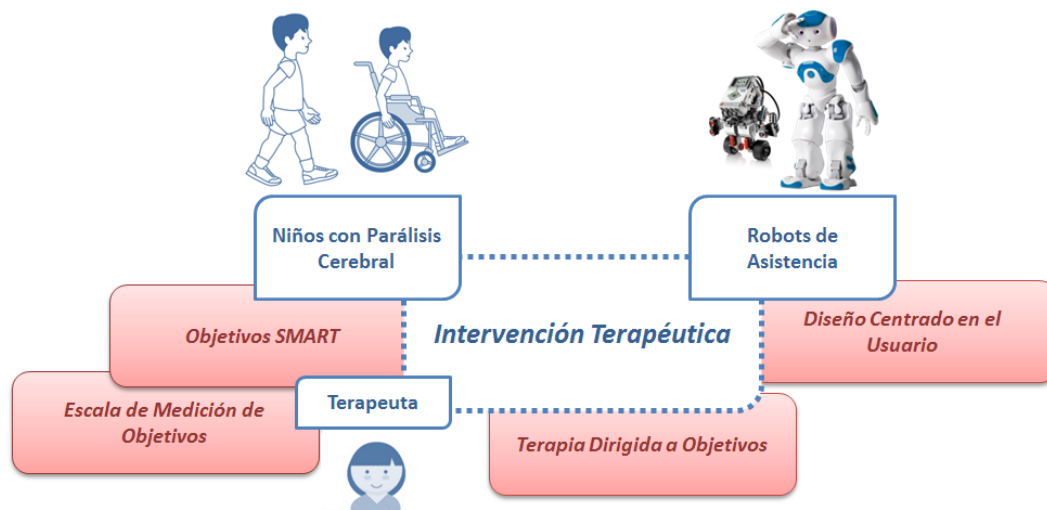


Figura 6. Contexto de la intervención terapéutica.

3.2 Pilares para la metodología OTERA-NPC

3.2.1 Objetivos SMART

Los objetivos SMART (*Specific, Measurable, Achievable, Realistic and Timed*) son aquellos que cumplen con los siguientes requisitos: específicos, medibles, alcanzables, realistas y para lograrlos en un tiempo definido. Esta forma de definir objetivos ha demostrado ser eficaz en diferentes entornos, debido a que evita incertidumbres y ofrece la información necesaria para que puedan ser cumplidos. El concepto inicial de los objetivos SMART fue atribuido al concepto de “Manejo por Objetivos” de Peter Drucker (1954), pero el primer uso conocido del término SMART fue presentado por (Doran, 1981), quien planteó la metodología SMART de los cinco conceptos de requisitos para asegurar que los objetivos sean claros y alcanzables.

La especificación de los objetivos utilizando la metodología SMART no es una tarea fácil y en ocasiones se percibe como un proceso lento (Bovend'Eerd et al., 2009). Sin embargo, los objetivos deben ser claros y definidos para la consecución de los mismos. Para procesos terapéuticos y de rehabilitación, la definición de objetivos es descrito como "la esencia de la rehabilitación" y es fundamental para facilitar procesos centrados en el paciente (AGENCY FOR CLINICAL INNOVATION, 2013). Los objetivos pueden ser útiles para respaldar la participación y el compromiso del paciente y la planificación del proceso terapéuticos. La definición de objetivos también ayuda a garantizar que la terapia priorice actividades definidas por el paciente y el terapeuta.

Para definir y construir un objetivo SMART, se plantea usar el método propuesto por (Bovend'Eerd et al., 2009), que define cuatro actividades:

1. Especificar la actividad objetivo: para definir objetivos específicos y medibles, se debe centrar en los comportamientos relacionados con la actividad y la participación del niño con parálisis cerebral. Los ejemplos comunes incluyen la movilidad y las actividades para la vida diaria, además del proceso de rehabilitación del niño. Estos objetivos se deben especificar de manera clara y explícita. En procesos terapéuticos y de rehabilitación, algunas actividades son comunes y se puede utilizar la lista de Perfiles de Actividades de Rehabilitación (Jelles, Van Bennekom, Lankhorst, Sibbel, & Bouter, 1995) o el Conjunto Básico de la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF) para Niños y Jóvenes con Parálisis Cerebral propuesto por (Veronica Schiariti, 2017), para verificar y asegurar que las actividades son relevantes para establecer y estandarizar el objetivo.
2. Especificar el soporte necesario: a menudo es necesario modificar o proporcionar factores ambientales adicionales para tener éxito en la actividad. Existen diferentes apoyos ambientales: el

primero se refiere al apoyo dado por personas, desde asistencia física, apoyo emocional y cognitivo. El segundo se refiere a ayudas físicas en el entorno o un entorno adaptado, y el tercero hace referencia a otras ayudas cognitivas que pueden configurarse para proporcionar un soporte informativo.

3. Cuantificar el rendimiento: el rendimiento se puede cuantificar de tres maneras: (1) El tiempo de duración en una actividad, el cual permite un método de cuantificación razonablemente preciso y sensible para cuantificar el rendimiento. (2) La cantidad de una actividad realizada. Un ejemplo es la distancia (en metros). (3) Por último, la frecuencia de la actividad, o sea, la cantidad de veces en un periodo de tiempo.
4. Especificar el periodo de tiempo para lograr el objetivo deseado: el último paso es especificar el período de tiempo durante el cual (o la fecha en que) se espera que se logre el objetivo. En la práctica, el progreso se puede medir en tiempos establecidos que varían desde semanalmente, hasta cada 4 a 6 semanas, y hasta cada 3 a 6 meses. Este tiempo variará dependiendo del proceso de rehabilitación y de los objetivos, que generalmente son de corto y mediano plazo. Es importante tener en cuenta que la intervención terapéutica pretende generar un cambio de comportamiento a través de los objetivos propuestos y depende del aprendizaje del paciente.

Los objetivos son más útiles para los pacientes cuando se abordan las prioridades que son importantes para ellos. Es ampliamente reconocido que los objetivos que son importantes para el paciente pueden aumentar la motivación del mismo y su nivel de participación en el proceso terapéutico. La terapia en sí misma rara vez es agradable, especialmente a largo plazo. Además, el vínculo entre las actividades de terapia y el resultado funcional, aunque obvio para el terapeuta, a menudo no es intrínsecamente claro para el paciente. Cuando los objetivos son relevantes y desafiantes, pero aún alcanzables, es más probable que el paciente cambie su comportamiento para lograr los objetivos (Badge, Weekes, Jones, & Strettles, 2013). Trabajar para alcanzar objetivos SMART puede generar altos niveles de motivación y mayor participación en actividades, incluyendo un mejor rendimiento y persistencia.

3.2.2 Escala de Medición de Objetivos (*Goal Attainment Scaling - GAS*)

La escala de medición de objetivos, comúnmente llamada GAS por sus siglas en inglés, es un método para evaluar el logro de objetivos. Originalmente se introdujo en los años 60 por (Kiresuk & Sherman, 1968) para evaluar resultados en trabajos de salud mental con adultos. Desde entonces, GAS se ha utilizado para evaluar la prestación de servicios en muchos campos, como en educación, rehabilitación, medicina y trabajo social (McDougall & King, 2007). La metodología de GAS es afín con la filosofía de terapia centrada en el paciente, debido a que proporciona un medio para identificar los resultados de intervención que son relevantes para el paciente y su familia (Mailloux et al., 2007). GAS también se conoce como un método para

calificar hasta qué punto los objetivos individuales se logran en el curso de una intervención (Turner-Stokes, 2006). Bajo esta metodología, se fomenta la participación activa de la persona en la fijación de los objetivos del tratamiento y usa los principios de la atención centrada en el paciente. Además, es una escala que permite la fijación de objetivos individuales y es sensible a mínimos cambios, pero que son clínicamente significativos y difíciles de apreciar al usar escalas estandarizadas. Una característica importante de GAS es el establecimiento "a priori" de criterios para un resultado "exitoso", que se acuerda con el paciente y la familia antes de iniciar la intervención, con el objetivo de tener una expectativa realista de lo que se puede lograr (Turner-Stokes, 2006). Cada objetivo se fija en una escala de 5 puntos, que va desde -2 hasta +2, que permite establecer la calificación de cada objetivo (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Escala de Calificación de GAS (Turner-Stokes, 2006).

Puntuación	Descripción del resultado
+2	Mucho mejor de los esperado
+1	Mejor de lo esperado
0	Lo esperado
-1	Peor de lo esperado
-2	Mucho peor de los esperado

Cuando los objetivos escalados han sido evaluados, es decir, hayan recibido una puntuación de la escala (entre -2 y +2), se debe calcular el valor promedio de GAS usando la Ecuación 1 (Kiresuk & Sherman, 1968).

$$GAS = 50 + \frac{10 \sum (w_i x_i)}{\sqrt{((1 - \rho) \sum w_i^2 + \rho (\sum w_i)^2)}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde: 50 representa la media, 10 la desviación estándar, w_i : es el peso asignado a la i-ésimo objetivo propuesto (si todos son igual de importantes, entonces $w_i = 1$), x_i : El valor numérico obtenido (entre -2 y +2) y ρ : la interrelación global de los resultados de los puntajes obtenidos (para efectos prácticos puede asumirse como 0.3). Además, w es el peso de cada objetivo, que es producto entre la importancia y la dificultad. La importancia y la dificultad se califican en una escala de 4 puntos (ver Tabla 3) (Turner-Stokes, 2006).

Tabla 3. Escala Importancia y Dificultad.

Importancia	Dificultad
0 = nada (importante)	0 = nada (difícil)
1 = un poco (importante)	1 = un poco (difícil)
2 = moderadamente (importante)	2 = moderadamente (difícil)
3 = muy (importante)	3 = muy (difícil)

3.2.3 Terapia Dirigida a Objetivos

La terapia funcional dirigida a objetivos (*Goal-Directed functional Therapy - GDT*) es un enfoque de la terapia basado en la actividad. Se definen objetivos significativos para el paciente, con el fin de proporcionar oportunidades para un mejor desempeño en actividades que sean relevantes (Löwing, Bexelius, & Brogren Carlberg, 2009). El enfoque de esta terapia se centra en aprender nuevas habilidades en el contexto de las actividades necesarias para la vida diaria. Estas actividades normalmente se deben definir con el paciente, la familia y el terapeuta a través de la formulación de objetivos centrados en la terapia (Löwing, Bexelius, & Carlberg, 2010). Por lo tanto, la terapia dirigida a objetivos ofrece actividades que se adaptan individualmente para desafiar el aprendizaje (Cerebral Palsy Alliance, 2016).

El objetivo principal de este enfoque es direccionar las habilidades en actividades significativas. Los principios provienen de los modelos actuales de sistemas dinámicos de control motor que sugieren que los patrones de movimiento surgen como resultado de la interacción entre las capacidades de la persona, el ambiente y el objetivo (Mastos, Miller, Eliasson, & Imms, 2007). La terapia centrada en objetivos a menudo se lleva a cabo durante periodos entre dos y tres meses y está condicionada a la meta del objetivo. Estos objetivos se planean cumplir en tiempos de mediano y corto plazo. Así mismo, este enfoque promueve el desempeño funcional y la independencia gradual en las actividades (Löwing et al., 2009).

Para niños con parálisis cerebral, la terapia dirigida a objetivos involucra tareas que son necesarias para actividades de la vida diaria y que enfrentan un desafío en el desarrollo de sus habilidades. Normalmente, estas tareas han sido elegidas como objetivos para la terapia. Estas tareas pueden ser para áreas de motricidad gruesa, autocuidado, comunicación, juego o actividades escolares. En las intervenciones terapéuticas para niños con parálisis cerebral se deben establecer objetivos, los cuales deben practicarse para que se logren. Además, es importante que la familia forme parte de la intervención, ya que pueden ayudar a identificar las fortalezas y los factores del niño para alcanzar el objetivo.

3.2.4 Diseño Centrado en el Usuario (*User Centered Design - UCD*)

El diseño centrado en el usuario (DCU) se define como un enfoque de diseño cuyo proceso está dirigido por la información de las personas que van a hacer uso del producto y sus necesidades. En este proceso se involucra a los usuarios en el proceso de diseño a través de una variedad de técnicas de investigación para crear productos altamente utilizables y accesibles para ellos (Interaction Design Foundation, 2002).

El estándar ISO 13407:1999 *Human-centred design process for interactive systems* (ISO, 1999) establece una base común para los métodos del diseño centrado en el usuario y propone un proceso genérico de las actividades centradas en los usuarios mediante un ciclo de vida de desarrollo. El estándar define cuatro actividades principales y se deben llevar a cabo de forma iterativa. En la Figura 7 se muestra el ciclo de estas cuatro actividades y se describen así:

1. Especificación del contexto de uso. En esta primera fase se debe comprender el contexto en el que los usuarios usarían el producto a desarrollar, para qué lo usarán y bajo qué condiciones lo utilizarán, además de la identificación de las personas que lo utilizarán.
2. Especificación de los requisitos. Se realiza la definición de las necesidades y objetivos de los usuarios, así como los requisitos organizacionales y de uso del producto.
3. Producción de soluciones de diseño. A partir de la información recogida en las dos fases anteriores se crean y desarrollan las soluciones (diseño).
4. Evaluación de los diseños. Esta es una de las etapas más importantes del proceso, en la que los diseños desarrollados se evalúan. Para estas evaluaciones se deben tener en cuenta las personas que utilizarán el sistema, los requerimientos y el contexto de uso. A partir de aquí, se realizan nuevas iteraciones en las fases, continuando hasta que los resultados de la evaluación sean satisfactorios. Si la evaluación satisface los requisitos, el proceso finaliza, si no, se vuelve a repetir el proceso desde las fases anteriores para especificar si es necesario de nuevo el contexto, refinar requerimientos y el desarrollo del producto.

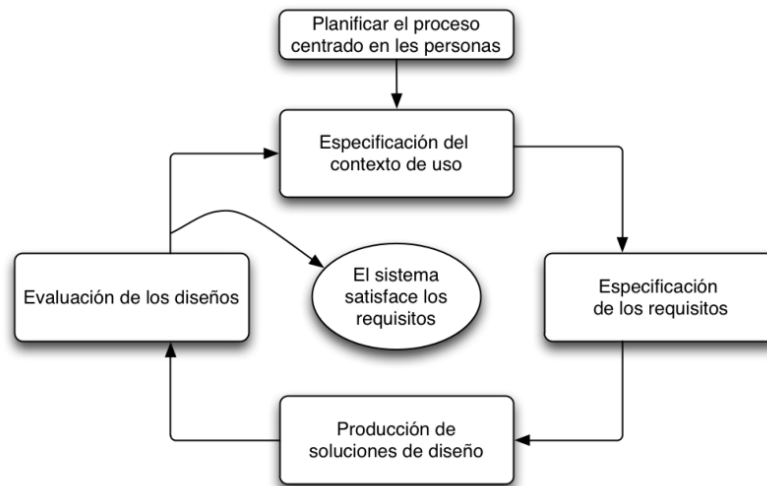


Figura 7. Ciclo de actividades de la ISO13407 (ISO, 1999).

Recientemente, el ISO 13407 ha sido actualizado y renombrado como ISO 9241:210:2010 *Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centred design for interactive systems* para adaptarlo a las tendencias actuales e integrarlo con otros estándares relacionados. Este estándar es una guía para incorporar el diseño centrado en el usuario en el ciclo de vida del desarrollo de aplicaciones interactivas para obtener productos más usables y describe seis principios (Montero, 2001):

1. El diseño está basado en una comprensión explícita de usuarios, tareas y entornos.
2. Los usuarios están involucrados durante el diseño y el desarrollo.
3. El diseño está dirigido y refinado por evaluaciones centradas en usuarios.
4. El proceso es iterativo.
5. El diseño está dirigido a toda la experiencia del usuario.
6. El equipo de diseño incluye habilidades y perspectivas multidisciplinarios.

El diseño centrado en el usuario, es una filosofía, un proceso y una orientación estratégica que sitúa a la persona en el centro con la intención de desarrollar un producto adecuado a sus necesidades y requerimientos, para mejorar la utilidad y la usabilidad. Así mismo, es un proceso de diseño que se centra en los factores cognitivos de las personas y como éstos intervienen en sus interacciones con los productos (Norman & Draper, 1986). Este proceso involucra al usuario en todas las fases a través de las que se desarrolla un producto, desde su conceptualización hasta su evaluación, pasando, en muchos casos, por su desarrollo. El objetivo del diseño centrado en el usuario es la creación de productos que los usuarios encuentren útiles y usables (Abrás, Abrás, Maloney-krichmar, & Preece, 2004). La experiencia de usuario es el factor clave en el momento de diseñar y construir sistemas interactivos y está directamente relacionado con la usabilidad y la facilidad de uso del producto. Un elemento clave en la experiencia de usuario es el aspecto afectivo o

emocional, es decir, tener en cuenta las emociones que experimentan los usuarios al utilizar un producto. La experiencia de usuario puede obtener información de las emociones para mejorar el diseño y la interacción con el producto.

Un aspecto esencial del diseño centrado en el usuario es que el diseño se refina mediante pruebas con usuarios previstos. Sin embargo, la realidad en entornos con recursos limitados lo hace problemático (Dorrington, Wilkinson, Tasker, & Walters, 2016). También requiere de la participación de un equipo multidisciplinario, permitiendo la relevancia y aceptación del diseño del producto en las áreas que se han involucrado en el diseño, además de reducir los riesgos asociados con el uso de un producto (Norman & Draper, 1986).

Existe un conjunto de técnicas o métodos para las etapas de desarrollo del diseño centrado en el usuario para lograr los objetivos propuestos en cada una de ellas. Para las fases iniciales como son el contexto de uso y los requisitos se usan las técnicas de indagación, que buscan involucrar a los usuarios en las diferentes actividades para la recolección de información, tales como, *context mapping*, *focus group*, entrevistas, entre otras. La información de los usuarios y sus objetivos es imprescindible para el diseño centrado en el usuario y para desarrollar productos usables. El prototipado y el *card sorting* son técnicas indicadas para proyectos que presentan cierta complejidad en el diseño del producto y para determinar su estructura y terminología. Estas técnicas también se denominan métodos de diseño participativo. La creación de personajes y escenarios constituye una técnica muy útil para situar al usuario en el centro del proceso de diseño. Así mismo, los tests de usuarios son pruebas que se realizan con los diseños de prototipos. Los métodos de inspección, también denominados métodos de evaluación de la usabilidad, como la evaluación heurística, evaluación de prototipos y pruebas de usabilidad, consisten fundamentalmente en evaluaciones a través de expertos en usabilidad que estudian y examinan el producto a evaluar.

3.3 Propuesta Metodológica OTERA-NPC

Después de la presentación de los fundamentos de los pilares, a continuación se presenta la propuesta metodológica **OTERA-NPC** (Objetivos **T**erapéuticos a través de **R**obots de Asistencia para **N**iños con **P**arálisis **C**erebral). La Figura 8 muestra el diagrama de las fases para el desarrollo de la metodología y sus actividades. Esta propuesta es una segunda versión de la presentada en (Jaime A. Buitrago & Caicedo, 2017). Se proponen cuatro fases para promover el cumplimiento de objetivos terapéuticos y un camino formal para lograr intervenciones en procesos terapéuticos para niños con parálisis cerebral a través de robots.

3.3.1 Fase 1: Contexto del Niño

El niño con parálisis cerebral es el punto de inicio para realizar la intervención terapéutica a través de robots de asistencia. En esta primera fase de la metodología se debe comprender el contexto terapéutico y el contexto familiar/social del niño con parálisis cerebral. La Figura 9 muestra las actividades para desarrollar en la fase 1.

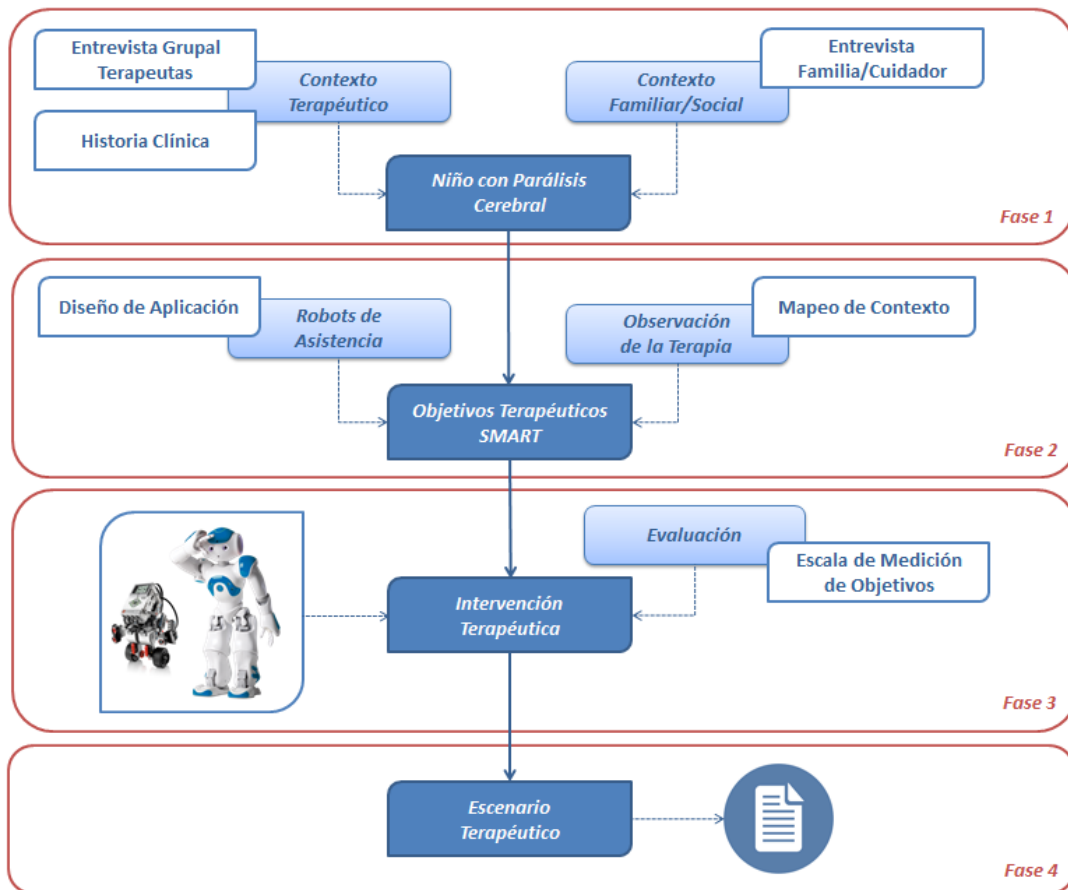


Figura 8. Fases de la propuesta metodológica.

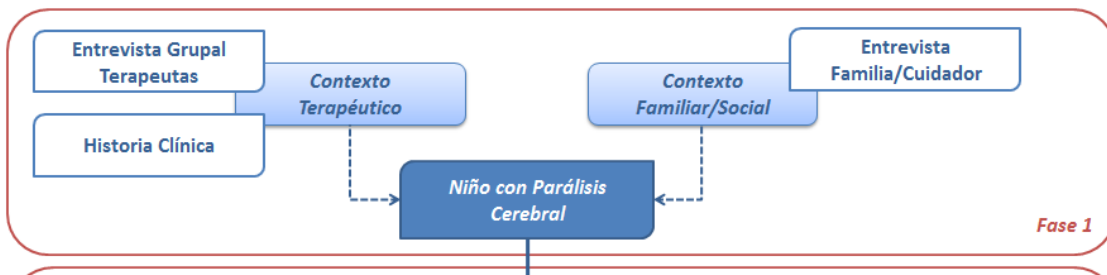


Figura 9. Actividades de la fase 1.

Para comprender el contexto del niño se utilizan técnicas del diseño centrado en el usuario para recolectar esta información, conocidas como técnicas de indagación. Para el contexto terapéutico se realiza una entrevista grupal o *focus group* (Uswell Project, 2016) con los terapeutas que llevan el proceso de rehabilitación del niño con parálisis cerebral. Concretamente se realiza una entrevista de forma conjunta para conocer y obtener información relacionada al niño y su proceso terapéutico. Además de esta entrevista, se revisa la historia clínica del niño para tener información precisa del proceso de rehabilitación, tratamientos y evoluciones. Se pueden identificar las funciones motoras y cognitivas del niño, así como sus fortalezas y restricciones, que permiten conocer las funcionalidades y las actividades que se realizan en el proceso terapéutico. Para estandarizar esta información se puede usar el Conjunto Básico de la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF) para Niños y Jóvenes con Parálisis Cerebral propuesto por (Veronica Schiariti, 2017). Así mismo, se identifica la clasificación del niño en las escalas del Sistema de Clasificación de la Función Motora Gruesa (*Gross Motor Function Classification System - GMFCS*) y Sistema de Clasificación de la Habilidad Manual (*Manual Ability Classification System - MACS*) (Hidecker et al., 2012). Según (Novak et al., 2013), los estudios de mayor calidad definieron las capacidades de la función motora del niño utilizando el GMFCS y el MACS, permitiendo una mejor interpretación de los efectos del tratamiento teniendo en cuenta la gravedad de la discapacidad.

Otro objetivo de esta primera etapa es identificar el contexto familiar y social del niño, que son los factores personales y ambientales del niño. Para esto se realiza una entrevista a la familia y/o cuidador del niño con parálisis cerebral.

3.3.2 Fase 2: Objetivos Terapéuticos SMART

Después de conocer el proceso de rehabilitación y el contexto del niño, en la fase 2 se definen y escalan los objetivos terapéuticos SMART. Estos objetivos se construyen y escalan con la información de la observación de la terapia y el robot de asistencia. La Figura 10 muestra las actividades para desarrollar en la fase 2.

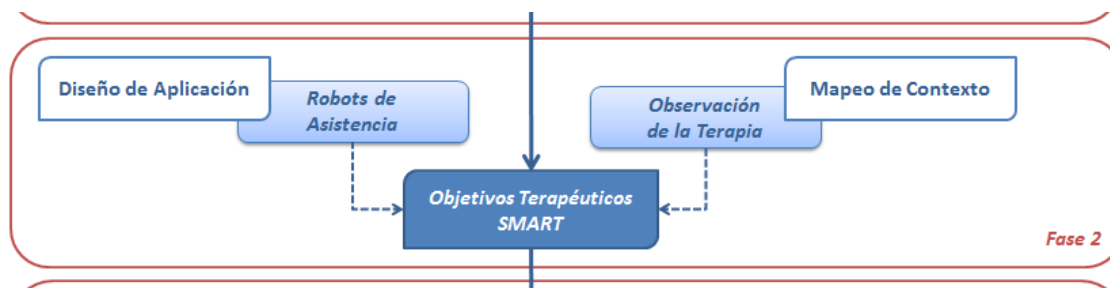


Figura 10. Actividades de la fase 2.

Para la observación de la terapia se utiliza la técnica de mapeo de contexto (Esser, 2018). El objetivo de esta observación es conocer de manera objetiva las actividades y comportamientos del niño en una sesión de

terapia habitual. Observar y conocer al niño en el contexto de la terapia revela una comprensión de su comportamiento, sus necesidades específicas, problemas, deseos y/o motivaciones.

Con la información de la fase anterior (contexto) y las observaciones realizadas en esta fase, se diseña e implementa la aplicación de robot de asistencia para apoyar la terapia. Para el diseño de la aplicación del robot de asistencia, se especifican las funcionalidades de la aplicación, tales como: la forma del robot, qué tipo de interacción debe tener la aplicación, qué interfaces se deben adaptar al niño para permitir la interacción con el robot, entre otras. Con las funcionalidades definidas, se diseña la aplicación del robot de asistencia, donde se pueden desarrollar modelos de diseño, desde bocetos, estructuras y maquetas, hasta prototipos funcionales (UseWell, 2016). Finalmente, se realizan pruebas funcionales al diseño de la aplicación con el terapeuta y el niño con parálisis cerebral. El objetivo es involucrar directamente al niño y el terapeuta en la evaluación de las funcionalidades de la aplicación. Estas pruebas se deben realizar en el contexto terapéutico, es decir, el espacio habitual donde se utilizará la aplicación del robot de asistencia.

Esta fase finaliza con la definición y escalado del objetivos terapéuticos SMART. Con la información de la fase anterior (contexto del niño), de las observaciones realizadas en esta fase y el diseño la aplicación del robot de asistencia se definen y se escalan los objetivos terapéuticos SMART. Los objetivos SMART son un pilar de la propuesta metodológica y permiten definir de manera precisa la actividad en la terapia para el niño con parálisis cerebral. Esto se logra especificando la actividad objetivo, el soporte necesario, cuantificando el rendimiento y definiendo el tiempo para lograr el objetivo (Bovend'Eerdt et al., 2009). Estos objetivos SMART pueden generar niveles de motivación y participación en actividades, incluyendo un mejor rendimiento y persistencia. Según (Badge et al., 2013), cuando los objetivos son relevantes y desafiantes, pero aún alcanzables, es más probable que el niño cambie su comportamiento para lograrlos.

3.3.3 Fase 3: Intervención Terapéutica

En esta fase se realiza la intervención terapéutica (Figura 11). La intervención se realiza con el enfoque de la Terapia Centrada en Objetivos. El objetivo principal de este enfoque es direccionar las habilidades de los niños en cumplir los objetivos terapéuticos SMART. Estos objetivos permiten generar oportunidades en actividades que son relevantes para el niño con parálisis cerebral en el proceso de rehabilitación. Los objetivos terapéuticos han sido contruidos definiendo la actividad específica, el soporte necesario, la cuantificación del rendimiento y el tiempo definido para lograrlo. Estas características son los parámetros que definen el escenario terapéutico. Además de estos parámetros, también se debe definir la frecuencia de la intervención terapéutica a través de los robots de asistencia.

En esta fase también se realiza la evaluación de los objetivos a través de la Escala de Medición de Objetivos (*Goal Attainment Scaling - GAS*), la cual evalúa hasta qué punto los objetivos individuales se logran en el

curso de una intervención (Turner-Stokes, 2006), además de fomentar la participación activa del niño con parálisis cerebral debido a la fijación de los objetivos. GAS es sensible a mínimos cambios, pero que son clínicamente significativos y difíciles de apreciar al usar escalas estandarizadas.

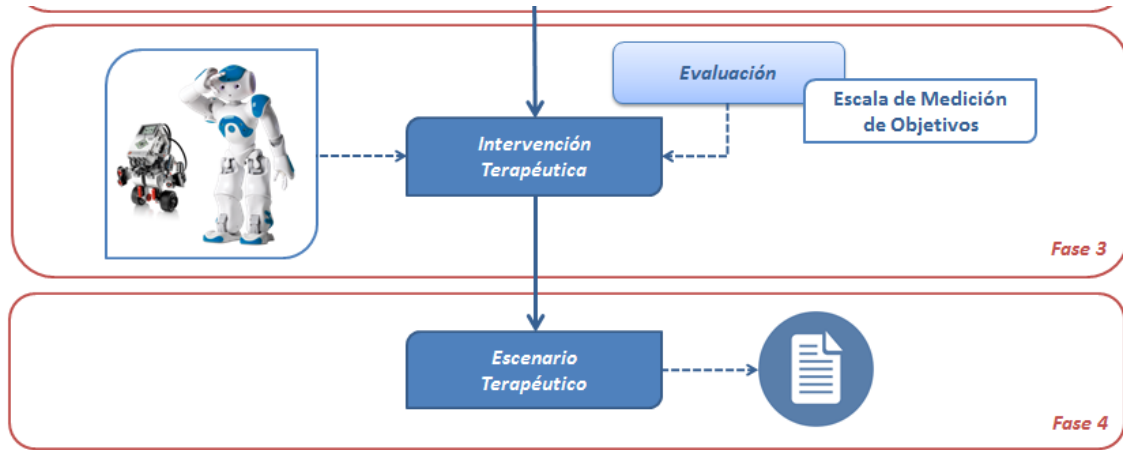


Figura 11. Actividades de la fase 3 y fase 4.

3.3.4 Fase 4. Escenario Terapéutico

Con la información generada de la intervención terapéutica, se define el escenario terapéutico. Un escenario es la declaración verbal de una posible interacción entre usuarios, y también entre usuarios y plataformas o tecnologías, para obtener un objetivo a partir de esta intención, realizando una tarea mediante un conjunto de técnicas. También es una descripción del comportamiento de un sistema en una determinada situación.

Para formalizar el escenario terapéutico, se adoptó la estructura presentada en (Robins et al., 2010) a partir del diseño basado en escenarios (Rosson & Carroll, 2002), que se describe en la Tabla 3. En la estructura del escenario terapéutico se presentan los participantes, el objetivo terapéutico, el área de rehabilitación, descripción de la actividad, la aplicación del robot de asistencia, la configuración del lugar de la terapia, tiempo de la intervención terapéutica y la evaluación (ver Tabla 4). El principal objetivo del escenario es generar una interacción entre el niño con parálisis cerebral, el terapeuta y la aplicación del robot de asistencia, para obtener un resultado en el proceso de rehabilitación. El escenario es una descripción detallada de cómo realizar la intervención terapéutica a través de robots de asistencia para niños con parálisis cerebral.

Tabla 4. Estructura del Escenario Terapéutico.

Participantes	Descripción de los participantes que se involucran en la terapia.
Objetivo Terapéutico	Descripción del objetivo terapéutico que se desea cumplir.
Áreas de Terapia o Rehabilitación	Descripción de las áreas de rehabilitación
Aplicación del robot de	Descripción de las funcionalidades de la aplicación del robot de

Asistencia	asistencia para la intervención terapéutica.
Actividad	Descripción del procedimiento de cómo se realiza la intervención terapéutica.
Configuración del lugar de la terapia	Descripción de las características del espacio físico, ambientales y organización espacial para el desarrollo adecuado de la terapia.
Tiempo	Duración de la actividad. Número de intervenciones y frecuencia.
Evaluación	Método para evaluar el objetivo.

3.3.5 Instrumentos para el desarrollo de Metodología

Para llevar a cabo la metodología propuesta, es necesario utilizar instrumentos para la recolección de la información y desarrollo de la misma. Estos instrumentos son herramientas para conocer el proceso terapéutico del niño con parálisis cerebral, la definición los objetivos SMART, así como los requerimientos para el diseño de las aplicaciones de los robots y del escenario terapéutico. En esta sección se presentan y listan estos instrumentos de apoyo para el desarrollo de cada una de las fases de la propuesta metodológica.

Fase 1: Contexto del Niño

- Instrumento 1: recolectar información de la entrevista grupal a terapeutas que conocen el proceso terapéutico del niño con parálisis cerebral.
- Instrumento 2: recolectar información de entrevistas a familiares y/o cuidador del niño con parálisis cerebral.

Fase 2: Objetivos Terapéuticos SMART

- Instrumento 3: recolectar información de la observación de la terapia del niño, mapeo de contexto.
- Instrumento 4: especificar las funcionalidades de la aplicación del robot de asistencia para la intervención terapéutica.
- Instrumento 5: formular y escalar los objetivos terapéuticos SMART para la intervención a través del robot.

Fase 3: Intervención Terapéutica

- Instrumento 6: evaluar objetivos terapéuticos SMART a través de GAS.

Fase 4: Escenario Terapéutico.

- Instrumento 7: formular escenario terapéutico.

3.4 Conclusiones del capítulo

La propuesta metodológica OTERA-NPC promueve el cumplimiento de Objetivos Terapéuticos a través de Robots de Asistencia para Niños con Parálisis Cerebral, además de proporcionar un camino formal para llevar a cabo intervenciones terapéuticas. Esta propuesta involucra dos contextos: uno terapéutico y otro tecnológico. Desde el punto de vista terapéutico, la propuesta presenta un enfoque centrado en objetivos, donde estos objetivos se especifican usando la metodología SMART, además de escalarlos y evaluarlos a través de la escala de medición de objetivos (GAS). Desde el punto tecnológico, la metodología propone utilizar técnicas del diseño centrado en el usuario para la recolección de la información del contexto del niño y su proceso de rehabilitación. Con esta información se diseñan e implementan las aplicaciones de los robots de asistencia que apoyan la intervención terapéutica.

Es necesario validar la propuesta metodológica en un ambiente terapéutico, para así promover el uso de la misma y validar el uso de robots de asistencia. Se propone realizar estas validaciones en un centro asistencial donde niños con parálisis cerebral asisten de manera regular a sesiones de terapia para su proceso de rehabilitación. Para validar la metodología, se deben ejecutar las fases propuestas, para así generar los escenarios terapéuticos, que son una representación generalizada de la intervención terapéutica a través de robots de asistencia.



Capítulo 4. Validación de la Metodología

4.1 Introducción

La propuesta metodológica OTERA-NPC presentada en el capítulo anterior, pretende promover el cumplimiento de objetivos terapéuticos para niños con parálisis cerebral usando robots de asistencia. Esta propuesta involucra la participación de terapeutas, niños con parálisis cerebral, padres y/o cuidadores, ya que se debe establecer una comunicación directa entre ellos para extraer información relevante que permita identificar el proceso terapéutico para la aplicación efectiva de la metodología a través de robots de asistencia.

En este capítulo se presenta el proceso de validación de la propuesta metodológica que se realizó con niños que asisten de manera regular a terapias al Centro de NeuroRehabilitación SURGIR de la ciudad de Cali – Colombia (Surgir, 2014), que es una Institución Prestadora de Servicios de Salud especializada en rehabilitación. Se presentan dos casos de estudio: en el primero participaron tres niños, quienes interactuaron con robots LEGO® e interfaces de acceso en el área de terapia ocupacional; y para el segundo, dos niños, donde la intervención se realizó en el área de fisioterapia a través de la interacción con el robot humanoide NAO.

Para el desarrollo de estas validaciones, primero se obtuvo la revisión y aprobación de esta investigación por el Comité de Ética de la Universidad del Valle y del Centro de NeuroRehabilitación SURGIR. También se definieron los criterios de inclusión y exclusión de los niños para participar en la investigación, los cuales fueron:

- Niños diagnosticados con parálisis cerebral.
- Edad cronológica entre 5 y 10 años. Se seleccionó este rango de edad porque se encontró que niños en este rango de edades pudieron controlar y usar un robot (Al Cook et al., 2010).
- Niños que demostraran buena relación con el medio que los rodea y comprensión del contexto inmediato.
- Niños que tuvieran la capacidad de responder preguntas de sí/no.
- Niños con atención al tratamiento y habilidades de comportamiento para poder obedecer las órdenes inherentes al sistema propuesto.
- Niños que pudieran seguir una orden de al menos una instrucción. Por ejemplo, los niños que siguen instrucciones individuales como: "presione el interruptor que está sobre la mesa".

De la misma forma, se definieron los criterios de exclusión:

- Deficiencias cognitivas que no permiten comprender una instrucción verbal. Esto fue necesario debido a la metodología propuesta en la investigación.
- Discapacidades visuales que no permiten al niño identificar objetos a un metro de distancia.
- Discapacidades auditivas que no permiten al niño escuchar instrucciones y conversaciones con el terapeuta y familiares.
- Niños y familiares que no puedan asistir al menos dos veces por semana a terapia. La frecuencia de la terapia se mantuvo tanto como fue posible durante la investigación.

4.2 Caso 1

Como lo propone la metodología OTERA-NPC, en la fase 1 se identifica el contexto del niño, para así definir la aplicación del robot de asistencia para la intervención y los objetivos SMART para el proceso terapéutico. Para el primer caso de estudio se identificaron tres niños con parálisis cerebral para realizar la intervención en el área de terapia ocupacional. A continuación se describen los resultados de la aplicación de las fases de la metodología.

4.2.1 Fase 1: Contexto del niño

4.2.1.1 Contexto Terapéutico

Siguiendo las actividades propuestas para la fase 1 de la propuesta metodológica (Figura 9), primero se realizó una entrevista grupal con los terapeutas que atienden y conocen el proceso de rehabilitación de los niños. En esta entrevista grupal participaron tres terapeutas ocupacionales, quienes atienden de manera regular a cada uno de los niños. Los terapeutas expresaron que en la terapia se enfoca el trabajo en el desarrollo de la motricidad fina y en mejorar la función superior del cuerpo y la postura del niño. Este enfoque tiene el objetivo de ayudar al niño a poder realizar actividades básicas de la vida diaria, como comer, vestirse o usar el baño, por medio de ejercicios de patrones funcionales y ejercicios prácticos para facilitar estas actividades. También generar estrategias alternativas con un equipo de adaptación para promover la independencia. Por último, expresaron la importancia de mantener y desarrollar habilidades de percepción visual, cognitivas y de procesamiento sensorial.

En la entrevista también se verificaron los criterios de inclusión para los niños, y en la Tabla 5 se relaciona la información de cada uno de ellos. Los tres niños usan silla de ruedas para movilizarse y presentan compromisos motores severos.

Tabla 5. Relación de niños para el caso 1.

Niño Seudónimo	Edad	Género	Diagnóstico	Movilidad GMFCS*	Manual MACS**
<i>n1</i>	9	M	Parálisis Cerebral Distónica (cuadriparesia)	V	V
<i>n2</i>	8	F	Parálisis Cerebral Espástica (cuadriparesia)	V	IV
<i>n3</i>	7	F	Parálisis Cerebral Espástica	V	IV

*GMFCS: Gross Motor Function Classification System

**MACS: Manual Ability Classification System

De esta entrevista y de la revisión de las historias clínicas de cada niño, se identificaron las actividades que trabajan los niños en la terapia:

Para *n1*:

- Alcances y señalamientos con miembros superiores.
- Estabilidad del tronco.
- Concepto de lateralidad.
- Completar secuencias de actividades a través de la organización de tarjetas.

Para *n2*:

- Alcances y señalamientos con miembros superiores.
- Estabilidad del tronco en posición sedente.
- Atención en una actividad.
- Aprendizaje e identificación de colores.
- Patrones funcionales, mano cabeza, mano boca.

Para *n3*:

- Alcances y señalamientos con miembros superiores.
- Estabilidad del tronco.
- Control cervical.
- Atención en una actividad.
- Respuestas en comunicación SI y NO.

Con el objetivo de estandarizar las estas actividades, se identificaron las áreas del Conjunto Básico de la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF) para Niños y Jóvenes con Parálisis Cerebral propuesto por (Veronica Schiariti, 2017):

- b140. Funciones de la atención: funciones mentales específicas que permiten centrarse en un estímulo externo o experiencia interna durante el periodo de tiempo necesario. Incluye: funciones relacionadas con el mantenimiento de la atención, cambios del objeto de la atención, división de la atención, compartir la atención; concentración y tendencia a estar distraído.
- d175. Resolver problemas: encontrar soluciones a problemas o situaciones identificando y analizando los diferentes aspectos, desarrollando opciones y soluciones, evaluando efectos potenciales de las soluciones, y ejecutando la solución escogida, como resolver una disputa entre dos personas. Incluye: resolver problemas simples y complejos.
- d177. Tomar decisiones: elegir una opción entre varias, llevar a cabo la elección y evaluar los efectos de la elección, como seleccionar y comprar un producto en particular, o decidir poner en práctica y realizar una tarea de entre varias que se deben hacer.
- d415. Mantener la posición del cuerpo: mantener el cuerpo en la misma posición durante el tiempo necesario, como permanecer sentado o de pie en el trabajo o en el colegio. Incluye: mantenerse acostado, de pie, agachado, de rodillas, sentado y en cuclillas.
- d440. Uso fino de la mano: realizar acciones coordinadas relacionadas con manejar, recoger, manipular y soltar objetos, utilizando la mano y los dedos incluyendo el pulgar, como es necesario para coger monedas de una mesa, o girar el mando de sintonía de una radio o el pomo de una puerta. Incluye: recoger, manipular y soltar.
- d445. Uso de la mano y el brazo: realizar las acciones coordinadas que se requieren para manipular y mover objetos utilizando las manos y los brazos, como ocurre al girar picaportes/tiradores o lanzar o atrapar un objeto en movimiento. Incluye: tirar/halar o empujar objetos; alcanzar; girar o torcer las manos o los brazos; lanzar; atrapar un objeto en movimiento.
- b710. Funciones relacionadas con la movilidad de las articulaciones: funciones relacionadas con la extensión y la suavidad de movimiento de una articulación. Incluye: funciones relacionadas con la movilidad de una o varias articulaciones vertebrales, hombro, codo, muñeca, cadera, rodilla, tobillo, pequeñas articulaciones de las manos y de los pies; movilidad generalizada de las articulaciones; deficiencias tales como hipermovilidad articular, rigidez articular, hombro “congelado”, artritis.
- b1301. Motivación: funciones mentales que generan los incentivos para actuar; el impulso consciente o inconsciente para la acción.

4.2.1.2 Contexto Familiar/Social

Esta actividad consistió en una entrevista a familiares y/o cuidadores de los niños para conocer el contexto familiar y social. La entrevista se realizó de manera informal, en momentos donde los padres y/o cuidadores acompañaban a los niños a sesiones de terapia. Esto se realizó de esta manera, debido a que los familiares y/o cuidadores no tenían otro espacio de tiempo y espacio para realizarse. De estas entrevistas se concluyó lo siguiente:

Los niños realizan actividades rutinarias como ver televisión y ver videos en los teléfonos móviles de los padres o familiares. Los tres niños presentan problemas de comunicación, debido a esto se relacionan poco con el contexto social. Así mismo, n1 y n3 no están escolarizados, y n2 asiste esporádicamente a un colegio para niños con necesidades especiales. Además, no usan dispositivos de tecnología de asistencia, como interruptores y/o comunicadores.

La vida social de los niños principalmente transcurre con los familiares cercanos, como hermanos, primos, tíos y abuelos. También, se identificó que los niños se relacionan con las familias que asisten a las sesiones de terapia, en espacios comunes del centro de rehabilitación. Las familias y niños están en el centro de rehabilitación en promedio entre dos y tres días en la semana, y de cada día cerca de tres horas. Este tiempo se vuelve un espacio de interacción social de los niños, debido a que es el único espacio fuera de casa donde se relacionan con otras personas diferentes al contexto familiar. Para cada niño y su familia se presentó la investigación a realizar y el consentimiento informado aprobado por el comité de ética, aceptando la participación en la misma.

4.2.2 Fase 2: Objetivos Terapéuticos SMART

4.2.2.1 Observación de la Terapia

Para la fase 2 de la metodología (ver Figura 10), primero se realizó la observación de la terapia a través de la observación del contexto. Se estudiaron las actividades y comportamientos de los niños en sesiones habituales de terapia ocupacional. Se observaron dos sesiones de terapia ocupacional para cada niño, de las cuales una fue grabada en video. De estas observaciones y grabaciones se identificó lo siguiente:

- Cada sesión de terapia dura 45 minutos. Al inicio de la terapia, el niño es preparado y acondicionado para el ejercicio o actividad a realizar. Esta preparación dura entre 5 y 10 minutos, donde prepara al niño, realizando ajustes y acomodaciones para el desarrollo de la terapia.
- Los niños normalmente realizan la terapia estando sentados en la silla de ruedas, debido a su compromiso motor, donde se trabaja en el ajuste de la postura en posición sedente.
- En la terapia se utiliza una mesa de escotadura que se ajusta a la silla de ruedas para realizar actividades con extremidades superiores.
- Las principales actividades a nivel motor se realizan con las extremidades superiores, para realizar alcances y señalamientos.
- Se realizan actividades donde quieren que el niño centre la atención en una actividad concreta.
- Se proponen actividades donde el niño debe realizar ejercicios con más de dos instrucciones.
- En la terapia se utilizan tarjetas de actividades de la vida diaria, con el objetivo de ordenar una secuencia de estas actividades, identificando acciones y eventos.

- Se utilizan rompecabezas, donde el niño ayuda a completarlos.

4.2.2.2 *Robots de Asistencia*

Con la información de las entrevistas de la primera fase y las observaciones realizadas en esta fase, se define la aplicación del robot de asistencia para el apoyo al proceso terapéutico. Para esta definición también se utiliza la revisión realizada en el Capítulo 2, donde se identificaron los robots de asistencia usados en niños con parálisis cerebral. A través de esta revisión se identificó el uso de los sistemas LEGO® MINDSTORMS® (LEGO Education, 2016) como los robots más utilizado por niños con parálisis cerebral (Miguel Cruz, Ríos Rincón, Rodríguez Dueñas, Quiroga Torres, & Bohórquez-Heredia, 2017) en diferentes contextos (Al Cook et al., 2010). El uso principal de estos robots de asistencia fue realizado para demostrar habilidades cognitivas (A Cook et al., 2011), (Pedro Encarnação, Piedade, Cook, & Adams, 2011) en el contexto del juego (Pedro Encarnação et al., 2014) y la academia (P. Encarnação et al., 2017). En (A Cook et al., 2011) (A. M. Cook, Adams, Encarnação, & Alvarez, 2012) se presenta la relación de estas habilidades con las actividades que puede realizar un robot. Las habilidades fueron: Sin interacción, Causalidad, Inhibición, Lógica binaria, Coordinación de múltiples variables, Juego simbólico y Resolución de problemas. De acuerdo con estos trabajos, se evidenciaron resultados positivos en el uso de estos robots en diferentes actividades e intervenciones para niños con discapacidades motrices, como niños con parálisis cerebral.

A través de estos robots se pueden realimentar acciones a través de la interacción y participación de los niños en el proceso terapéutico, además de tener aspectos de juguete, que pueden generar atención y motivación. Para este primer caso se propone el uso de estos robots LEGO® Mindstorms para involucrarlos en la terapia y direccionar objetivos terapéuticos. La Figura 12 muestra el diagrama de la propuesta para la aplicación del robot de asistencia para este caso. Este diagrama propone la interacción entre el niño con parálisis cerebral y el robot de asistencia, gestionado por el terapeuta a través de una APP desde un dispositivo móvil.

Además de lo propuesto en el diagrama de la Figura 12, se definen aspectos funcionales y técnicos de la aplicación del robot de asistencia para apoyar las terapias. Estas especificaciones son:

- Usar Robots contruidos con los sistemas LEGO® Mindstorms EV3 (LEGO, 2016).
- Usar interruptores *Buddy Botton* (AbleNet Inc, 2017a) como interfaz de acceso.
- Usar un dispositivo móvil, como una Tablet para la gestión y control de la terapia.
- Diseñar e implementar una aplicación (APP) para un dispositivo móvil para la gestión de las actividades de la terapia.
- Diseñar y construir una interfaz hardware para conectar los interruptores, con capacidad de comunicación inalámbrica al dispositivo móvil (Bluetooth) y una autonomía para la duración de la terapia.
- La aplicación en el dispositivo móvil debe controlar y gestionar la conexión de la interfaz hardware y el robot de asistencia.

- Los robots de asistencia deben generar movimientos y sonidos para captar la atención del niño.

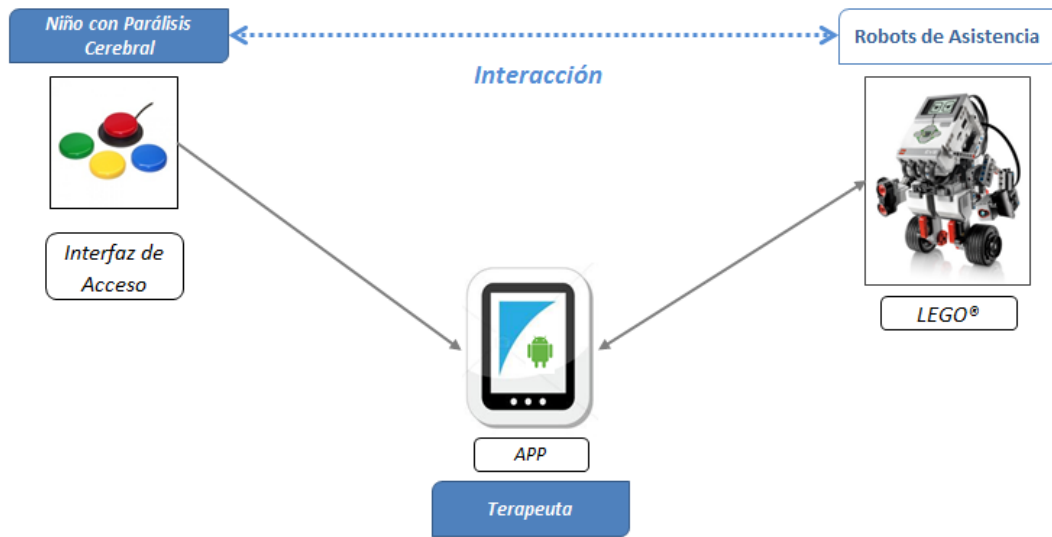


Figura 12. Diagrama de la Aplicación.

TherAppyBot

Con las especificaciones definidas, se diseñó e implementó la herramienta *TherAppyBot*. Esta herramienta integra dos robots LEGO® EV3, una Interfaz hardware para la conexión de interruptores y una aplicación Android para la gestionar las aplicaciones de la terapia y controlar la interfaz y los robots (Figura 13).

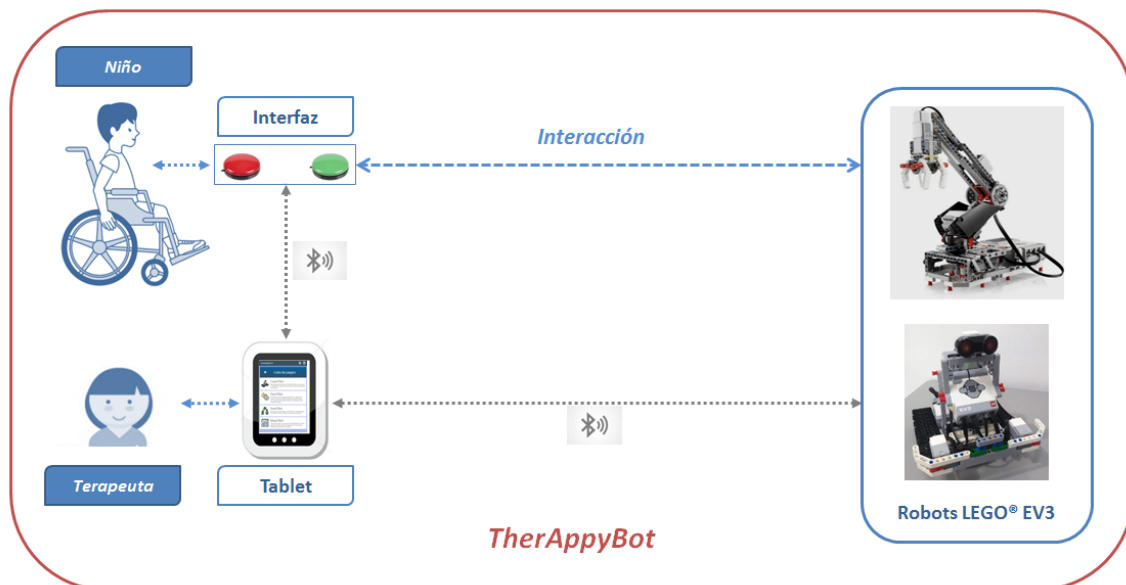


Figura 13. TherAppyBot.

Robots. Los robots LEGO® para *TherAppyBot* son: un robot móvil *TankTBot* y un robot manipulador *ArmTBot*. Estos robots fueron construidos con base a diseños planteados por la compañía LEGO® (LEGO, 2016).

Interfaz hardware. La interfaz hardware es una interfaz de acceso que tiene como objetivo permitir la interacción física entre el niño y el robot a través de interruptores o pulsadores. La interfaz permite la conexión de hasta 4 interruptores y se comunica de forma inalámbrica con la aplicación en el dispositivo móvil (APP). La interfaz fue diseñada con el sistema Adafruit Feather 32u4, que cuenta con un microcontrador Atmel®, un módulo de comunicación Bluetooth LE y un sistema de carga para una batería tipo LIPO de 900 mAh para brindar autonomía en el desarrollo de las terapias.

Para la herramienta se cuenta con interruptores *Buddy Button* de tres diámetros: 3.5 cm, 6.4 cm y 11.5 cm (AbleNet Inc, 2017b) y de 4 colores: amarillo, azul, rojo y verde. A través de la interfaz y los interruptores, se permite diferentes configuraciones de tamaño y color. En la Figura 14 se muestra la interfaz y dos interruptores de 6.4 cm.



Figura 14. Interfaz hardware e interruptores de 6.4 cm.

Aplicación para dispositivo móvil. La aplicación para el dispositivo móvil consta de cuatro aplicaciones/actividades: *CrashTBot*, *PaintTBot*, *GrabTBot* y *MazeTBot*, las cuales se pueden usar progresivamente en la terapia y han sido diseñadas para direccionar objetivos terapéuticos, tanto motores como cognitivos (ver Figura 15). Esta aplicación se implementó en una Tablet de 7" para facilidad de uso en el desarrollo de la terapia y autonomía. La aplicación fue desarrollada sobre Android Studio. A continuación se describe cada una de las aplicaciones.



Figura 15. Aplicaciones de TherAppyBot.

La primera aplicación *CrashTBot* se diseñó partiendo del concepto de Causalidad y se utiliza para que el niño comprenda la relación causa/efecto y realice alcances con los miembros superiores. La Causalidad es la capacidad de detectar los estados inicial y final de un evento e inferir una causa como resultado del seguimiento a lo largo del tiempo (Pedro Encarnação et al., 2014). El objetivo con esta aplicación es comprender que una acción sobre un interruptor desencadena un efecto sobre el robot. Para esta aplicación se usa el robot móvil *TankTBot*, y la actividad planteada fue que el robot derribará objetos que se encuentren en un rango de alcance. Al pulsar el botón, el robot gira aleatoriamente hasta encontrar un objeto, y cuando lo encuentra, se dirige hacia este y lo derriba, después regresa a su posición inicial.

PaintTBot es la segunda aplicación y se diseñó bajo el concepto de Inhibición. La inhibición o control inhibitorio es la capacidad del niño para inhibir activamente una respuesta predominante con el fin de lograr un objetivo determinado (A. M. Cook et al., 2012). Para este caso el niño deberá comprender que debe mantener presionado un interruptor para que se termine de ejecutar una acción, además de trabajar el alcance con los miembros superiores y mantener el control de la extremidad en una actividad. Para esta aplicación también se usa el robot móvil *TankTBot* y la actividad planteada es que el robot pinta una figura geométrica (cuadrado, círculo o triángulo) de tres tamaños (pequeño, mediano o pequeño) (Ver Figura 16). Para la ejecución de la acción, el niño debe mantener sostenido el interruptor hasta que el robot complete de dibujar la figura en una cartulina puesta debajo del robot.

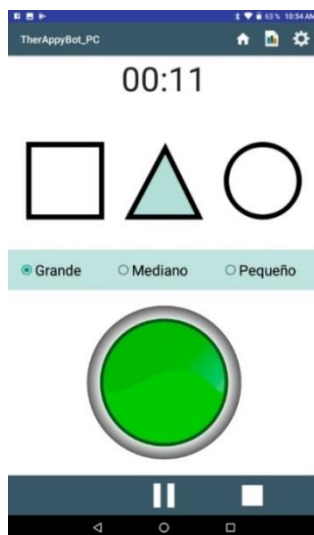


Figura 16. Configuración PaintTBot.

La tercera aplicación *GrabTBot* se diseñó partiendo del concepto de Relaciones Binarias, y se utiliza para que el niño comprenda que una acción tiene su opuesto. El niño debe identificar que existen dos opciones y una es la opuesta de la otra (A. M. Cook et al., 2012). Además, que realice alcances con los miembros superiores. Para esta aplicación se usa el robot manipulador *ArmTBot*, y consiste en definir una secuencia de dos opciones, donde el niño deberá presionar dos interruptores, uno para una orden y otro para otra. Por ejemplo, el terapeuta puede ordenar una secuencia de 4 opciones, como derecha e izquierda, así: IZQ, DER, DER, IZQ. Si el niño presiona el botón correcto, el robot manipulador recogerá un objeto que se ubica al frente y lo ubicará en el lado correspondiente; si por el contrario el niño presiona el botón equivocado, se reproduce un sonido de error y no genera movimientos (ver Figura 17). Esta habilidad le permite al niño identificar y comparar dos objetos con respecto a su ubicación en el espacio. Por ejemplo, esta habilidad le permite al niño diferenciar izquierda y derecha, y compararlo con su ubicación para hacer una elección (Pedro Encarnação et al., 2014). La APP permite que el terapeuta configure la secuencia y el orden que debe presionar el niño, además se puede elegir el color del interruptor. En la Figura 18 se muestra la configuración para esta aplicación.

La última aplicación, llamada *MazeTbot*, se diseñó con el objetivo de desarrollar las habilidades de lateralidad, orientación espacial y resolución de problemas. La resolución de problemas es una secuencia de acciones cognitivas y de percepción que generan procesos necesarios para lograr un objetivo determinado (A. M. Cook et al., 2012). La meta de esta actividad es controlar el robot móvil *TankTBot* sobre una pista de 1.20x1.80m que presenta diferentes rutas. Por medio de cuatro interruptores: adelante, atrás, izquierda y derecha, el reto de esta actividad es conducir el robot de un lugar a otro de la pista, por ejemplo, llevar al robot de la posición 4 hasta la posición 2. La Figura 19 muestra un diagrama de esta aplicación.

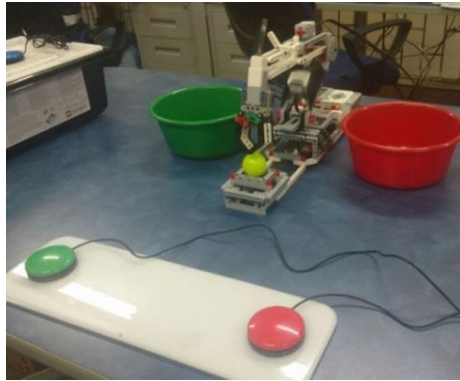


Figura 17. Interruptores de 6.4 cm y robot ArmTBot.



Figura 18. Configuración App GrabTBot.

Todas las aplicaciones permiten controlar los robots desde el dispositivo móvil, donde niños con menos compromisos motores, como un control fino de la mano, podrían realizar estas actividades controlando el robot desde la Tablet.

4.2.2.1 Objetivos Terapéuticos SMART

Con el diseño y la implementación de la herramienta *TherAppyBot* para asistir la intervención terapéutica, se definieron los objetivos terapéuticos para este primer caso. Estos objetivos terapéuticos SMART definen la actividad específica, el soporte necesario, la cuantificación del rendimiento y el tiempo definido para lograrlo (Bovend'Eerdt et al., 2009).

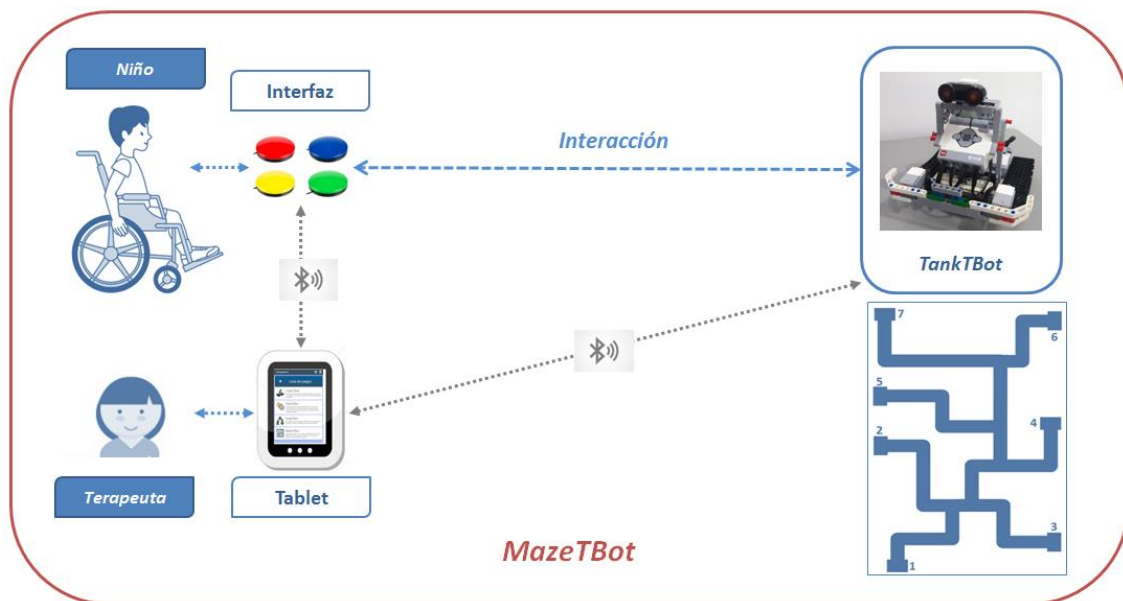


Figura 19. App MazeTBot.

De la misma forma, los objetivos se escalan usando GAS (*Goal Attainment Scaling*) (Turner-Stokes, 2006) para establecer la cuantificación de la evaluación. En las Tabla 6, 7 y 8 se presentan el escalado de los objetivos para n1, n2 y n3, respectivamente. Estos fueron definidos y escalados con el terapeuta que asiste a cada niño. Antes de iniciar el protocolo de intervención, se realizó una primera intervención con la aplicación del robot de asistencia para escalar y cuantificar los objetivos terapéuticos SMART. El escalado de los objetivos se realizó con la información de esta primera intervención y el concepto del terapeuta, quien conoce "a priori" los criterios para un resultado "exitoso" del niño y la expectativa realista de lo que es probable que se logre. Cada objetivo se cuantifica en la escala de 5 puntos (+2, +1, 0, -1 y -2).

Los objetivos para los tres niños son comunes, pero con variaciones para cada niño, por ejemplo, para n1 y n3, en el primer objetivo se plantea que presionen el interruptor con cualquiera de sus manos, mientras que para n2, se enfatiza sólo con la mano izquierda. Así mismo el tamaño del interruptor: para n3, se propone que presione un interruptor de diámetro de 11.5 cm, mientras que para n1 y n2, un interruptor de 6.4 cm. De la misma forma para el objetivo 2: para n1 se definió intervenir en la enseñanza de la lateralidad, y para n2 y n3, en el aprendizaje de dos colores. Estas especificaciones para cada objetivo fueron definidas con el terapeuta, de acuerdo al conocimiento del proceso de cada niño y de la aplicación del robot de asistencia.

El primer objetivo se planteó para introducir la tecnología en la terapia y validar la primera habilidad de causalidad y alcances con miembros superiores. Para el segundo objetivo se propuso desarrollar el concepto de relaciones binarias, donde el niño tiene dos opciones y debe elegir una de ellas, de acuerdo a la indicación del terapeuta.

Los objetivos son propuestos para ser trabajados en un periodo de 8 semanas, de acuerdo a lo propuesto por el enfoque de la Terapia Centrada a Objetivos y objetivos SMART, donde se definen objetivos para cumplir en tiempos de corto y mediano plazo, entre 4 y 16 semanas (Brogren Carlberg & Löwing, 2013)(Bovend'Eerd et al., 2009).

Tabla 6. Escalado de objetivos terapéuticos SMART para n1.

Escala GAS	Objetivo 1	Objetivo 2
+2 Mucho mejor de lo esperado	<i>Siguiendo indicaciones verbales, el niño es capaz de presionar un interruptor de 6.4 cm de diámetro ubicado en el plano horizontal en línea media sobre la mesa de escotadura de la silla de ruedas con la mano derecha o izquierda que activa el Robot TankTBot para derribar una torre de bloques, en el primer intento.</i>	<i>El niño es capaz de identificar y presionar 6 aciertos de una secuencia de 6 órdenes que indican derecha o izquierda por medio de dos interruptores de 6.4 cm de diámetro que activan un movimiento en el Robot ArmTBot.</i>
+1 Mejor de lo esperado	<i>Siguiendo indicaciones verbales, el niño es capaz de presionar un interruptor de 11.5 cm de diámetro ubicado en el plano horizontal en línea media sobre la mesa de escotadura de la silla de ruedas con la mano derecha o izquierda que activa el Robot TankTBot para derribar una torre de bloques, en el primer intento.</i>	<i>El niño es capaz de identificar y presionar 5 aciertos de una secuencia de 6 órdenes que indican derecha o izquierda por medio de dos interruptores de 6.4 cm de diámetro que activan un movimiento en el Robot ArmTBot.</i>
0 Lo esperado	<i>Siguiendo indicaciones verbales, el niño es capaz de presionar un interruptor de 11.5 cm de diámetro ubicado en el plano horizontal en línea media sobre la mesa de escotadura de la silla de ruedas con la mano derecha o izquierda que activa el Robot TankTBot para derribar una torre de bloques, en el segundo intento.</i>	<i>El niño es capaz de identificar y presionar 4 aciertos de una secuencia de 6 órdenes que indican derecha o izquierda por medio de dos interruptores de 6.4 cm de diámetro que activan un movimiento en el Robot ArmTBot.</i>
-1 Peor de lo esperado (línea base)	<i>Siguiendo indicaciones verbales, el niño es capaz de presionar un interruptor de 11.5 cm de diámetro ubicado en el plano horizontal en línea media sobre la mesa de escotadura de la silla de ruedas con la mano derecha o izquierda que activa el Robot TankTBot para derribar una torre de bloques, en el tercer intento.</i>	<i>El niño es capaz de identificar y presionar 3 aciertos de una secuencia de 6 órdenes que indican derecha o izquierda por medio de dos interruptores de 6.4 cm de diámetro que activan un movimiento en el Robot ArmTBot.</i>
-2 Mucho peor de lo esperado	<i>Siguiendo indicaciones verbales, el niño es capaz de presionar un interruptor de 11.5 cm de diámetro ubicado en el plano horizontal en línea media sobre la mesa de escotadura de la silla de ruedas con la mano derecha o izquierda que activa el Robot TankTBot para derribar una torre de bloques, en el cuarto intento.</i>	<i>El niño es capaz de identificar y presionar 2 aciertos de una secuencia de 6 órdenes que indican derecha o izquierda por medio de dos interruptores de 6.4 cm de diámetro que activan un movimiento en el Robot ArmTBot.</i>

Tabla 7. Escalado de objetivos terapéuticos SMART para n2.

Escala GAS	Objetivo 1	Objetivo 2
+2 Mucho mejor de lo esperado	<i>Siguiendo indicaciones verbales, la niña es capaz de presionar un interruptor de 6.4 cm de diámetro ubicado en el plano horizontal en línea media sobre la mesa de escotadura de la silla de ruedas con la mano izquierda que activa el Robot TankTBot para derribar una torre de bloques, en el primer intento.</i>	<i>La niña es capaz de identificar y presionar 6 aciertos de una secuencia de 6 órdenes que indican el color rojo o verde por medio de dos interruptores de 6.4 cm de diámetro que activan un movimiento en el Robot ArmTBot.</i>
+1 Mejor de lo esperado	<i>Siguiendo indicaciones verbales, la niña es capaz de presionar un interruptor de 11.5 cm de diámetro ubicado en el plano horizontal en línea media sobre la mesa de escotadura de la silla de ruedas con la mano izquierda que activa el Robot TankTBot para derribar una torre de bloques, en el primer intento.</i>	<i>La niña es capaz de identificar y presionar 5 aciertos de una secuencia de 6 órdenes que indican el color rojo o verde por medio de dos interruptores de 6.4 cm de diámetro que activan un movimiento en el Robot ArmTBot.</i>
0 Lo esperado	<i>Siguiendo indicaciones verbales, la niña es capaz de presionar un interruptor de 11.5 cm de diámetro ubicado en el plano horizontal en línea media sobre la mesa de escotadura de la silla de ruedas con la mano izquierda que activa el Robot TankTBot para derribar una torre de bloques, en el segundo intento.</i>	<i>La niña es capaz de identificar y presionar 4 aciertos de una secuencia de 6 órdenes que indican el color rojo o verde por medio de dos interruptores de 6.4 cm de diámetro que activan un movimiento en el Robot ArmTBot.</i>
-1 Peor de lo esperado (línea base)	<i>Siguiendo indicaciones verbales, la niña es capaz de presionar un interruptor de 11.5 cm de diámetro ubicado en el plano horizontal en línea media sobre la mesa de escotadura de la silla de ruedas con la mano izquierda que activa el Robot TankTBot para derribar una torre de bloques, en el tercer intento.</i>	<i>La niña es capaz de identificar y presionar 3 aciertos de una secuencia de 6 órdenes que indican el color rojo o verde por medio de dos interruptores de 6.4 cm de diámetro que activan un movimiento en el Robot ArmTBot.</i>
-2 Mucho peor de lo esperado	<i>Siguiendo indicaciones verbales, la niña es capaz de presionar un interruptor de 11.5 cm de diámetro ubicado en el plano horizontal en línea media sobre la mesa de escotadura de la silla de ruedas con la mano izquierda que activa el Robot TankTBot para derribar una torre de bloques, en el cuarto intento.</i>	<i>La niña es capaz de identificar y presionar 2 aciertos de una secuencia de 6 órdenes que indican el color rojo o verde por medio de dos interruptores de 6.4 cm de diámetro que activan un movimiento en el Robot ArmTBot.</i>

Tabla 8. Escalado de objetivos terapéuticos SMART para n3.

Escala GAS	Objetivo 1	Objetivo 2
+2 Mucho mejor de lo esperado	<i>Siguiendo indicaciones verbales, la niña es capaz de presionar un interruptor de 3.5 cm de diámetro ubicado en el plano horizontal en línea media sobre la mesa de escotadura de la silla de ruedas con la mano izquierda o derecha que activa el Robot TankTBot para derribar una torre de bloques, en el primer intento.</i>	<i>La niña es capaz de identificar y presionar 6 aciertos de una secuencia de 6 órdenes que indican el color rojo o azul por medio de dos interruptores de 6.4 cm de diámetro que activan un movimiento en el Robot ArmTBot.</i>
+1 Mejor de lo esperado	<i>Siguiendo indicaciones verbales, la niña es capaz de presionar un interruptor de 6.4 cm de diámetro ubicado en el plano horizontal en línea media sobre la mesa de escotadura de la silla de ruedas con la mano izquierda o derecha que activa el Robot TankTBot para derribar una torre de bloques, en el primer intento.</i>	<i>La niña es capaz de identificar y presionar 5 aciertos de una secuencia de 6 órdenes que indican el color rojo o azul por medio de dos interruptores de 6.4 cm de diámetro que activan un movimiento en el Robot ArmTBot.</i>
0 Lo esperado	<i>Siguiendo indicaciones verbales, la niña es capaz de presionar un interruptor de 6.4 cm de diámetro ubicado en el plano horizontal en línea media sobre la mesa de escotadura de la silla de ruedas con la mano izquierda o derecha que activa el Robot TankTBot para derribar una torre de bloques, en el segundo intento.</i>	<i>La niña es capaz de identificar y presionar 4 aciertos de una secuencia de 6 órdenes que indican el color rojo o azul por medio de dos interruptores de 6.4 cm de diámetro que activan un movimiento en el Robot ArmTBot.</i>
-1 Peor de lo esperado (línea base)	<i>Siguiendo indicaciones verbales, la niña es capaz de presionar un interruptor de 6.4 cm de diámetro ubicado en el plano horizontal en línea media sobre la mesa de escotadura de la silla de ruedas con la mano izquierda o derecha que activa el Robot TankTBot para derribar una torre de bloques, en el tercer intento.</i>	<i>La niña es capaz de identificar y presionar 3 aciertos de una secuencia de 6 órdenes que indican el color rojo o azul por medio de dos interruptores de 6.4 cm de diámetro que activan un movimiento en el Robot ArmTBot.</i>
-2 Mucho peor de lo esperado	<i>Siguiendo indicaciones verbales, la niña es capaz de presionar un interruptor de 6.4 cm de diámetro ubicado en el plano horizontal en línea media sobre la mesa de escotadura de la silla de ruedas con la mano izquierda o derecha que activa el Robot TankTBot para derribar una torre de bloques, en el cuarto intento.</i>	<i>La niña es capaz de identificar y presionar 2 aciertos de una secuencia de 6 órdenes que indican el color rojo o azul por medio de dos interruptores de 6.4 cm de diámetro que activan un movimiento en el Robot ArmTBot.</i>

4.2.3 Fase 3. Intervención terapéutica.

Las intervenciones se realizaron con el enfoque de la Terapia Centrada en Objetivos (Brogren Carlberg & Löwing, 2013). Este enfoque pretende direccionar habilidades de los niños para lograr objetivos funcionales (Novak et al., 2013). Se planificaron intervenciones para realizar en 8 semanas, con el fin de validar el cumplimiento de los objetivos a través de la aplicación del robot de asistencia. En las Tabla 9, 10 y 11 se muestra el cronograma que se realizó en las intervenciones para n1, n2 y n3 respectivamente.

Tabla 9. Cronograma de intervención para n1.

SEM	0		1		2		3		4		5		6		7		8	
ACT	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU
V	EVA	V					V				V				V			

Tabla 10. Cronograma de intervención para n2.

SEM	0		1		2		3		4		5		6		7		8	
ACT	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU	NT	TU	R	TU	R	TU	NT	NT
V	EVA	V					V						V					

SEM	9		10		11		12	
ACT	NT	NT	NT	NT	R	TU	R	TU
V							V	

Tabla 11. Cronograma de intervención para n3.

SEM	0		1		2		3		4		5		6		7		8	
ACT	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU
V	EVA	V					V				V				V			

Nomenclatura para las tablas:

SEM: Semana

ACT: Actividad

R: Terapia con Robot de Asistencia

TU: Terapia Usual (sin robot de asistencia)

NT: No hubo terapia

EVA: Evaluación Inicial

V: Se realizó grabación de video para evaluación

Los niños asisten a dos sesiones de terapia en la semana, y se propuso un modelo alternado, donde una sesión de la semana se realizó terapia usual y la otra se realizó la intervención con la aplicación del robot de asistencia. En la semana 0, antes de iniciar la intervención, se evaluó el estado actual de cada niño para la definición de los objetivos terapéuticos.

Los dos objetivos terapéuticos planteados se trabajaban en cada sesión. Para el primer objetivo se utilizaba la APP CrashTBot y la APP GrabTBot para el segundo objetivo. Cada intervención con el robot de asistencia se desarrollaba la terapia en el siguiente orden:

1. Se preparaba el niño, ajustando posiciones en la silla de ruedas y mesa de escotadura (entre 5 y 10 minutos).
2. Intervención con el robot de asistencia para el primer objetivo (entre 10 y 15 min).
3. Receso para cambio de robot para el segundo objetivo. El terapeuta ajustaba al niño o realizaba otra actividad (5 min).

4. Intervención con el robot de asistencia para el segundo objetivo (entre 15 y 20 min).
5. Finalización de la terapia y el terapeuta realizaba la evolución en la historia clínica de cada niño.

En el transcurso de las 8 semanas de intervención, se realizaron registros de video de la intervención usando el robot de asistencia para evaluar el cumplimiento de los objetivos. Se realizaron grabaciones al inicio, mitad y final de la intervención. Para el caso de n1 y n3, se realizaron registros en la semana 3, 5 y 7. Para n2, se realizaron registros en la semana 3, 6 y 12, debido a que hubo semanas donde la niña no asistió a terapias por problemas de salud y de transporte en la ciudad, generando que el cronograma se extendiera a 12 semanas, cumpliendo con la propuesta de la intervención de 8 semanas (Tabla 10). La Figura 20 muestra a los niños interactuando con el robot *ArmTBot* a través de dos interruptores en la sesión de terapia, usando la *APP GrabTBot*.



Figura 20. n1, n2 y n3 en terapia.

4.2.3.1 Evaluación

La evaluación de los objetivos se realizó a través de la escala de medición de objetivos (*Goal Attainment Scaling - GAS*), con el fin de calificar hasta qué punto los objetivos individuales del niño se logran en el curso de una intervención (Turner-Stokes, 2006) y fomenta la participación activa del niño, debido a la fijación de los objetivos. GAS es sensible a mínimos cambios, pero que son clínicamente significativos y difíciles de apreciar al usar escalas estandarizadas.

La evaluación de los objetivos fue realizada por un terapeuta que no participó en el estudio, esto con el fin de no sesgar los resultados. Como se mencionó anteriormente, este trabajo se ejecutó durante 8 semanas y se

realizaron registros de video de tres intervenciones. A través de estos videos, el terapeuta evaluador valoró el cumplimiento de los objetivos definidos para la intervención. En las Figura 21, 22 y 23 se presentan el diagrama de los resultados de la evaluación de cada objetivo para cada niño.

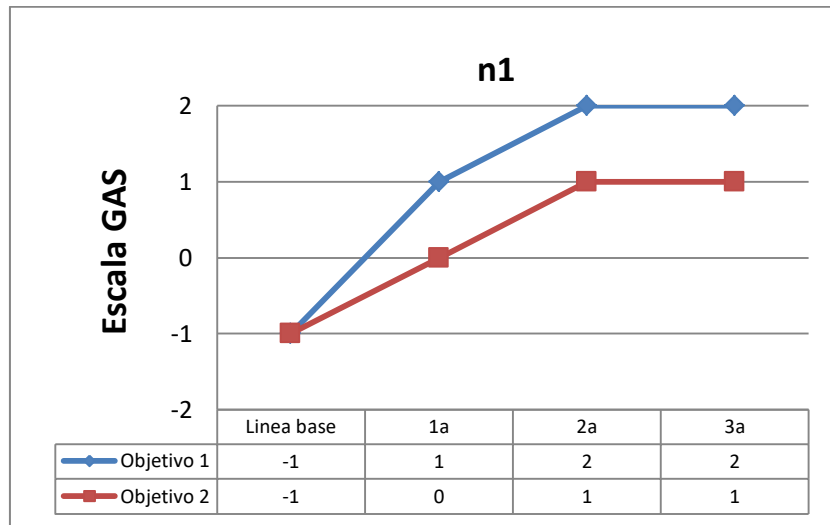


Figura 21. Evaluación de objetivos de n1.

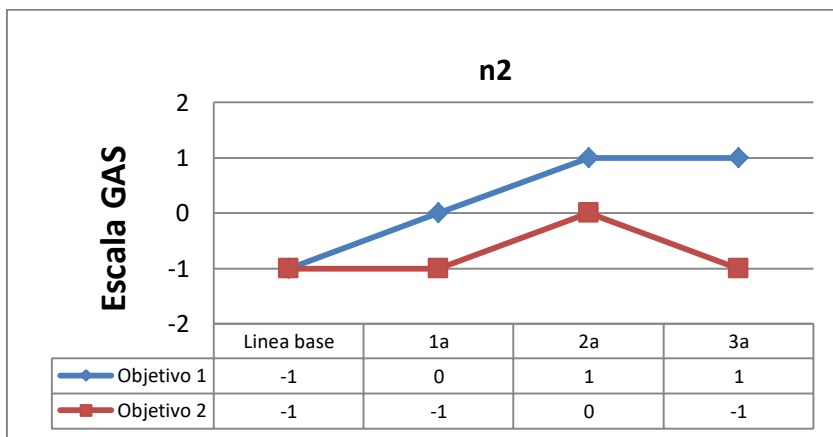


Figura 22. Evaluación de objetivos de n2.

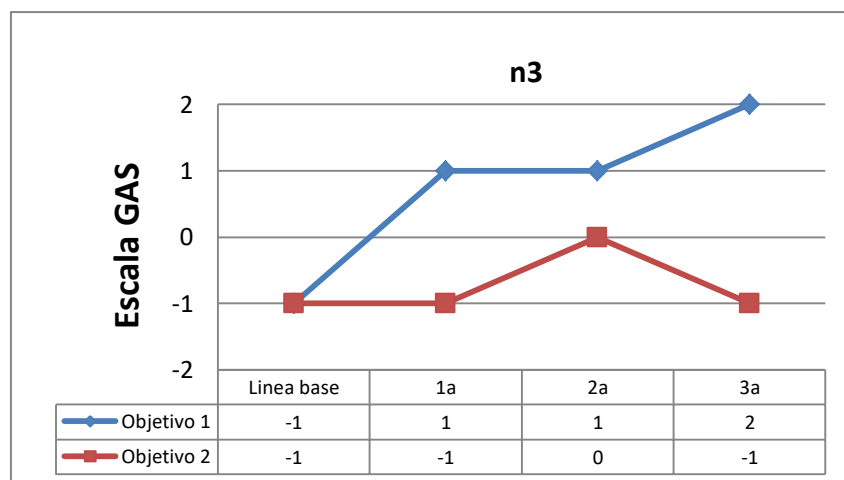


Figura 23. Evaluación de objetivos de n3.

4.2.3.2 Resultados

La evaluación realizada por el terapeuta a través de los videos, reportó que los tres niños lograron el cumplimiento del primer objetivo en la semana 3 (1ª evaluación), n2 alcanzó 0 en la escala GAS y n1 y n3, lograron +1 en la escala. Para la segunda evaluación, n1 aumentó a +2, n2 aumentó a +1 y n3 se mantuvo en +1. Para la última evaluación, n1 se mantuvo en +2, n2 se mantuvo en +1, n3 aumento a +2 (ver Figura 21, Figura 22 y Figura 23).

Con los resultados de la evaluación de estos objetivos, se puede concluir que los tres niños demostraron comprender el concepto de causalidad utilizando una aplicación de un robot de asistencia. Los resultados en la escala GAS fueron más de los esperado (+2 y +1), lo que evidenció que los niños lograron presionar un interruptor de un tamaño menor al objetivo deseado, lográndolo en primer intento. Además, los niños usaron diferentes estrategias motoras en su tronco y extremidades superiores para activar el interruptor.

Para el objetivo 2, los resultados para n1 fueron positivos, donde el niño en la primera evaluación (semana 3), había logrado el cumplimiento del objetivo, y en la segunda y tercera evaluación había logrado +2, demostrando que comprendió el concepto de lateralidad.

Para los niños n2 y n3, los resultados de la valoración del objetivo 2 fueron idénticos; en la primera evaluación se mantenían en la línea base (-1), para la segunda evaluación, habían logrado el cumplimiento del objetivo (0), pero en la última evaluación, regresaron a la línea base. En este caso, los dos niños pretendían aprender dos colores y, de acuerdo a los resultados, los niños no identificaron cada uno de los colores.

Teniendo los objetivos evaluados, es decir, la puntuación entre -2 y +2, se calculó el valor promedio de GAS (T) usando la Ecuación 1 (Kiresuk & Sherman, 1968), que representa una evaluación general del desempeño de los niños en la intervención terapéutica (King, Palisano, & Tucker, 1999).

$$T = 50 + \frac{10 \sum (w_i x_i)}{\sqrt{((1 - \rho) \sum w_i^2 + \rho (\sum w_i)^2)}} \quad \text{Ecuación 1}$$

De la ecuación 1, 50 representa la media, 10 la desviación estándar, w_i : es el peso asignado a la i -ésimo objetivo, x_i : El valor numérico obtenido (entre -2 y +2) y ρ : La interrelación global de los resultados de los puntajes obtenidos (se asume como 0.3). w es el peso de cada objetivo (producto entre la *importancia* y la *dificultad*). La importancia y la dificultad se califican en una escala de 4 puntos, de 0 a 3. Se asignó $w = 1$, donde todos los objetivos tienen la misma importancia y dificultad. La Figura 24 muestra los resultados de la calificación promedio GAS (T) de los tres niños.

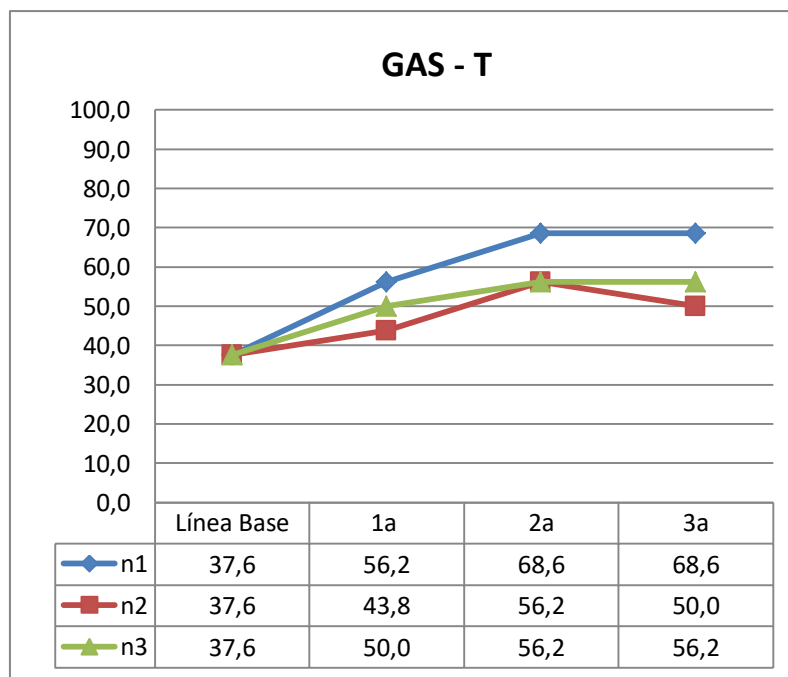


Figura 24. Valoración de objetivos usando GAS para n1, n2 y n3.

4.2.4 Fase 4. Escenarios terapéuticos.

Como resultado de las fases anteriores del primer caso de estudio (contexto del niño, la definición de objetivos y la intervención terapéutica), se generan cuatro escenarios terapéuticos, los cuales son una propuesta de la representación formal y generalizada de una intervención terapéutica a través de robots de asistencia para niños con parálisis cerebral.

Los escenarios terapéuticos son:

Escenario 1: CAUSA-EFECTO (Tabla 12).

Escenario 2: CONTROL-INHIBITORIO (Tabla 13).

Escenario 3: BINARIO (

Tabla 14).

Escenario 4: RUTAS (Tabla 15).

Tabla 12. Escenario Terapéutico CAUSA-EFECTO.	
Participantes	Un niño con diagnóstico de parálisis cerebral, nivel IV o V en las escalas MACS y GMFCS. El rol del niño es participar en la terapia atendiendo las indicaciones del terapeuta para presionar un interruptor. Un profesional en terapia física, ocupacional o de lenguaje. El rol del profesional es controlar el desarrollo de la terapia, preparando al niño para la terapia, además de dar indicaciones precisas al niño para presionar un interruptor.
Objetivo Terapéutico	El niño con parálisis cerebral debe realizar un alcance con sus miembros superiores para comprender que al presionar un interruptor se desencadena un efecto sobre un robot.
Áreas de Terapia o Rehabilitación	Conjunto de la CIF para PC: <ul style="list-style-type: none"> • b140. Funciones de la atención • d415. Mantener la posición del cuerpo • d440. Uso fino de la mano • d445. Uso de la mano y el brazo • b1301. Motivación
Aplicación del robot de Asistencia	<i>App CrashTBot</i> , Interfaz hardware, un interruptor (tamaño y color) y robot móvil <i>TankTBot</i> .
Actividad	La actividad consiste en que el niño debe presionar un interruptor ubicado en el plano horizontal, para que un robot móvil LEGO realice una acción. Se prepara al niño en posición sedente con una mesa, en su silla de ruedas con la mesa de escotadura o en un bipedestador. Se utiliza la actividad <i>CrashTBot</i> , el robot <i>TankTBot</i> , la interfaz hardware y un interruptor. El terapeuta configura la posición, tamaño y color del interruptor de acuerdo al objetivo y el compromiso motor del niño. Cuando el niño presiona el interruptor, el robot realiza una búsqueda aleatoria de objetos cercanos. Si el robot encuentra un objeto, lo identifica, lo derriba y regresa a su posición inicial. Además, el robot genera sonidos para llamar la atención del niño en la actividad.
Configuración del lugar de la terapia	La terapia se realiza en un espacio con un área mínima de 9 metros cuadrados. Se ubica el robot móvil <i>TankTBot</i> en línea de vista con el niño en una mesa o el piso.
Tiempo	Duración de la actividad: Entre 20 y 30 minutos. Número de intervenciones: Se proponen realizar entre 4 y 8 intervenciones con la aplicación del robot de asistencia, con una frecuencia de 1 sesión en la semana usando la aplicación del robot de asistencia.
Escalado y Evaluación de	GAS (Goal Attainment Scale) o COPM (Canadian Occupational Performance Measure)

Objetivos

Tabla 13. Escenario Terapéutico CONTROL-INHIBITORIO.

Participantes	<p>Un niño con diagnóstico de parálisis cerebral, nivel IV o V en las escalas MACS y GMFCS. El rol del niño es participar en la terapia atendiendo las indicaciones del terapeuta para mantener presionado un interruptor.</p> <p>Un profesional en terapia física, ocupacional o de lenguaje. El rol del profesional es controlar el desarrollo de la terapia, preparando al niño para la terapia, además de dar indicaciones precisas al niño para mantener presionado un interruptor.</p>
Objetivo Terapéutico	<p>El niño con parálisis cerebral debe realizar un alcance con un miembro superior para comprender que al mantener presionado un interruptor, un robot realiza una acción de manera continua.</p>
Áreas de Terapia o Rehabilitación	<p>Conjunto de la CIF para PC:</p> <ul style="list-style-type: none"> • b140. Funciones de la atención • d415. Mantener la posición del cuerpo • d440. Uso fino de la mano • d445. Uso de la mano y el brazo • b1301. Motivación
Aplicación del robot de Asistencia	<p><i>App PaintTBot</i>, Interfaz hardware, un interruptor (tamaño y color) y robot móvil <i>TankTBot</i>.</p>
Actividad	<p>La actividad consiste en que el niño debe mantener presionado un interruptor ubicado en el plano horizontal para que un robot móvil LEGO dibuje una figura geométrica.</p> <p>Se prepara al niño en posición sedente con una mesa, en su silla de ruedas con la mesa de escotadura o en un bipedestador.</p> <p>Se utiliza la actividad <i>PaintTBot</i>, el robot <i>TankTBot</i>, la interfaz hardware y un interruptor.</p> <p>El terapeuta configura la posición, el tamaño y el color del interruptor de acuerdo al objetivo y el compromiso motor del niño.</p> <p>El terapeuta y/o el niño, seleccionan la figura y el tamaño que dibujará el robot.</p> <p>Cuando el niño mantiene presionado el interruptor, el robot dibuja de manera continua la figura geométrica seleccionada. Si el niño, suelta el interruptor, es decir deja de mantenerlo activo, el robot se detiene y genera un sonido de error. Hasta que el interruptor no se vuelva a mantener presionado, el robot no vuelve a moverse. Si se mantiene presionado el interruptor, el robot finaliza de dibujar la figura geométrica y el robot genera sonidos para una realimentación positiva.</p> <p>La aplicación registra el número de veces que fue presionado el botón para dibujar la figura y el tiempo.</p> <p>La figura geométrica se dibuja sobre una cartulina de 70x100cm con un marcador que se acondiciona en el robot móvil.</p>

Configuración del lugar de la terapia	<p>La terapia se realiza en un espacio con un área mínima de 9 metros cuadrados.</p> <p>Se ubica el robot móvil <i>TankTBot</i> en línea de vista con el niño en una mesa o el piso.</p> <p>Se acondiciona una cartulina en una mesa o el piso y sobre la cartulina se ubica el robot móvil <i>TankTBot</i> con un marcador del mismo color del interruptor.</p>
Tiempo	<p>Duración de la actividad: Entre 20 y 30 minutos.</p> <p>Número de intervenciones: Se proponen entre 4 y 8 intervenciones con la aplicación del robot de asistencia. Con una frecuencia mínima de 1 sesión en la semana usando la aplicación del robot de asistencia.</p>
Escalado y Evaluación de Objetivos	GAS (Goal Attainment Scale) o COPM (Canadian Occupational Performance Measure)

Tabla 14. Escenario Terapéutico BINARIO.

Participantes	<p>Un niño con diagnóstico de parálisis cerebral, con nivel III y IV en la escala MACS. El rol del niño participar en la terapia atendiendo las indicaciones del terapeuta para identificar y seleccionar una opción de dos.</p> <p>Un profesional en terapia física, ocupacional o de lenguaje. El rol del profesional es controlar el desarrollo de la terapia, preparando al niño para la terapia, además de dar indicaciones precisas al niño para presionar un interruptor correcto.</p>
Objetivo Terapéutico	El niño con parálisis cerebral debe realizar estrategias motoras y cognitivas para presionar dos interruptores ubicados sobre una mesa o la mesa de escotadura de la silla de ruedas. Cada uno de estos interruptores tiene asociado un movimiento en un robot manipulador.
Áreas de Terapia o Rehabilitación	<p>Conjunto de la CIF para PC:</p> <ul style="list-style-type: none"> • b140. Funciones de la atención • d415. Mantener la posición del cuerpo • d440. Uso fino de la mano • d445. Uso de la mano y el brazo • b1301. Motivación
Aplicación del robot de Asistencia	<i>App GrabTBot</i> , Interfaz hardware, dos interruptores (tamaño y color) y robot manipulador <i>ArmTBot</i> .
Actividad	<p>El niño debe presionar uno de dos interruptores para que el robot manipulador realice una acción. Cada interruptor tiene asociado un movimiento que puede presentar un concepto. El terapeuta configura la posición, el tamaño y el color de los interruptores, además de seleccionar la secuencia en que se deben presionar los interruptores. El niño debe presionar el interruptor que el terapeuta le indique, si esta tarea se realiza, el robot realiza el movimiento, de no ser así y presiona el otro interruptor, el robot genera un sonido de error y no se moverá.</p> <p>El robot puede agarrar, mover y soltar un objeto o juguete pequeño.</p> <p>La aplicación registra el número de veces que presionó el interruptor correcto de la secuencia y el tiempo en la actividad.</p>
Configuración del lugar de la terapia	<p>La terapia se realiza en un espacio con un área mínima de 9 metros cuadrados.</p> <p>Se preparaba el niño en posición sedente con una mesa para ubicar los</p>

	interruptores. Se configura la <i>App GrabTBot</i> , la interfaz hardware y dos interruptores. Se ubica el robot manipulador <i>ArmTBot</i> en línea de vista con el niño.
Tiempo	Duración de la actividad: Entre 20 y 30 minutos. Número de intervenciones: Se proponen entre 4 y 8 intervenciones con la aplicación del robot de asistencia. Con una frecuencia mínima de 1 sesión en la semana usando la aplicación del robot de asistencia.
Escalado y Evaluación de Objetivos	GAS (Goal Attainment Scale) o COPM (Canadian Occupational Performance Measure)

Tabla 15. Escenario Terapéutico RUTAS.

Participantes	Un niño con diagnóstico de parálisis cerebral, con nivel II, III y IV en la escala MACS. El rol del niño es participar en la terapia atendiendo las indicaciones del terapeuta. Un profesional en terapia física, ocupacional o de lenguaje. El rol del profesional es controlar el desarrollo de la terapia.
Objetivo Terapéutico	El niño con parálisis cerebral debe realizar estrategias motoras y cognitivas para controlar y direccionar un robot móvil a través de diferentes rutas a través de cuatro interruptores ubicados sobre una mesa. También se puede controlar el robot desde la aplicación en el dispositivo móvil.
Áreas de Terapia o Rehabilitación	Conjunto de la CIF para PC: <ul style="list-style-type: none"> • b140. Funciones de la atención • d415. Mantener la posición del cuerpo • d440. Uso fino de la mano • d445. Uso de la mano y el brazo • b1301. Motivación
Aplicación del robot de Asistencia	<i>App MazeTBot</i> , Interfaz hardware, cuatro interruptores (tamaño y color) y robot móvil <i>TankTBot</i> .
Actividad	El niño debe controlar y direccionar el robot móvil con cuatro interruptores. Cada interruptor tiene asociado un movimiento: Adelante, atrás, izquierda y derecha. El terapeuta configura la posición, el tamaño y el color de cada interruptor, además, el terapeuta selecciona e indica al niño la ruta por donde debe controlar el robot. El niño llevar el robot sobre la ruta, si el robot se sale de la ruta, genera un sonido de error. La aplicación registra el número de veces que el robot se salió de la ruta y el tiempo en la actividad.
Configuración del lugar de la terapia	La terapia se realiza en un espacio con un área mínima de 9 metros cuadrados. Se preparaba el niño en posición sedente con una mesa para ubicar los interruptores. Se configura la <i>App MazeTBot</i> , la interfaz hardware y los interruptores. Se ubica el robot móvil sobre la pista en línea de vista con el niño.
Tiempo	Duración de la actividad: Entre 20 y 30 minutos. Número de intervenciones: Se proponen entre 8 y 12 intervenciones con la aplicación del robot de asistencia. Con una frecuencia mínima de 1 sesión en la semana usando la aplicación del robot de asistencia.
Escalado y Evaluación de Objetivos	GAS (Goal Attainment Scale) o COPM (Canadian Occupational Performance Measure)

4.3 Caso 2

Para el segundo caso de estudio se identificaron dos niños con parálisis cerebral, quienes también asisten a terapia de manera usual. En este caso la intervención se realiza en el área de fisioterapia. A continuación se presentan los resultados de la aplicación de la metodología OTERA-NPC.

4.3.1 Fase 1: Contexto del niño

4.3.1.1 Contexto Terapéutico

Para identificar el contexto terapéutico de los niños, se realizó una entrevista grupal con dos fisioterapeutas, quienes conocen el proceso de rehabilitación de cada uno de ellos. Los fisioterapeutas expresaron que en terapia física para estos niños se trabaja principalmente en mejorar el control funcional del cuerpo. Las terapias se centran en mejorar la movilidad de los niños, realizando ejercicios de caminatas y subir escaleras, además del trabajar en el control postural y el balance del cuerpo, donde realizan ejercicios con miembros superiores en posición bípedo. El objetivo principal de estos ejercicios es ayudar a los niños a desarrollar la coordinación de sus movimientos, mejorar la fuerza y el equilibrio en la marcha.

En la entrevista también se verificaron los criterios de inclusión para los niños, y en la Tabla 16 se relaciona la información de cada uno de ellos. Los niños presentan buen estado de salud, buena relación con el medio que los rodea y comprensión del contexto inmediato.

Tabla 16. Relación de niños para el segundo caso.

Niño Seudónimo	Edad	Género	Diagnóstico	Movilidad GMFCS*	Manual MACS**
<i>n4</i>	7	M	Parálisis Cerebral Discinética - Atetosis	III	II
<i>n5</i>	6	M	Parálisis Cerebral Espástica	III	IV

*GMFCS: Gross Motor Function Classification System

**MACS: Manual Ability Classification System

Con la información de la entrevista grupal y de las historias clínicas, se identificaron las actividades que se desarrollan para cada niño en fisioterapia:

Para *n4*:

- Inicio y control de la marcha.
- Transiciones de sedente a bípedo.
- Mantenimiento en posición bípedo.

- Ejercicios funcionales con miembros superiores en posición bípeda.

Para *n5*:

- Ejercicios para el control de marcha.
- Estabilidad en posición bípedo.
- Ejercicios funcionales con miembros superiores en posición bípedo.
- Fortalecimiento de los músculos de los miembros inferiores.
- Estabilidad y control del tronco.

Se estandarizaron estas actividades a través de las áreas del Conjunto Básico de la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF) para Niños y Jóvenes con Parálisis Cerebral propuesto por (Veronica Schiariti, 2017):

- d450 Andar: avanzar sobre una superficie a pie, paso a paso, de manera que al menos un pie esté siempre en el suelo, como pasear, deambular, caminar hacia adelante, hacia atrás o de lado. Incluye: andar distancias cortas o largas; andar sobre diferentes superficies; andar alrededor de obstáculos.
- d415 Mantener la posición del cuerpo: mantener el cuerpo en la misma posición durante el tiempo necesario, como permanecer sentado o de pie en el trabajo o en el colegio. Incluye: mantenerse acostado, de pie, agachado, de rodillas, sentado y en cuclillas
- b770 Funciones relacionadas con el patrón de la marcha: funciones relacionadas con los modos de moverse una persona al caminar, correr u otros movimientos de todo el cuerpo. Incluye: patrones para caminar y para correr; deficiencias tales como marcha espástica, hemipléjica, parapléjica, asimétrica y patrón de marcha torpe o rígido.
- b1301 Motivación: funciones mentales que generan los incentivos para actuar; el impulso consciente o inconsciente para la acción.
- b140 Funciones de la atención: funciones mentales específicas que permiten centrarse en un estímulo externo o experiencia interna durante el periodo de tiempo necesario. Incluye: funciones relacionadas con el mantenimiento de la atención, cambios del objeto de la atención, división de la atención, compartir la atención; concentración y tendencia a estar distraído.

4.3.1.2 Contexto Familiar/Social

Esta entrevista, como en el caso anterior, se realizó de manera informal, en momentos donde los familiares y/o cuidadores acompañaban a los niños a sus sesiones de terapia. Los dos niños están escolarizados y asisten a colegios para niños con necesidades espaciales. Los niños asisten a terapia entre dos y tres días por semana. Los niños realizan actividades rutinarias como ir al colegio en la jornada de la mañana y en las tardes estar en casa o asistir a terapias en el centro de rehabilitación, además de compartir con sus familiares más cercanos. La vida social de los niños transcurre principalmente en el colegio y con la familia más cercana. Como en el

caso anterior, se identificó que los niños se relacionan con las familias que asisten a las sesiones de terapia, en espacios comunes del centro de rehabilitación. Las familias y niños están en promedio entre dos y tres días en la semana. Para cada niño y su familia se presentó la investigación a realizar y el consentimiento informado aprobado por el Comité de Ética, aceptando la participación en la misma.

4.3.2 Fase 2: Objetivos Terapéuticos SMART

4.3.2.1 Observación de la Terapia

En esta fase de la metodología se realizó la observación de la terapia por medio del mapeo de contexto. Se observaron las actividades que realizan los niños en sesiones de fisioterapia. Se observó una sesión de fisioterapia de cada niño. De estas observaciones se identificó lo siguiente:

- Cada sesión de terapia dura 45 minutos. Al inicio de la terapia, el niño es preparado para la actividad o ejercicio a realizar. En esta preparación se realizan estiramientos y ejercicios de calentamiento, que normalmente dura entre 10 y 20 minutos.
- Los niños realizan la terapia en un gimnasio, donde realizan ejercicios de marcha, transiciones de sedente a bípedo, subir un escalón, subir escaleras, mantener el equilibrio haciendo actividades con los miembros superiores.
- Los niños realizan ejercicios con juguetes, como pelotas para trasladarlos de un lugar a otro.
- Se realizan actividades donde se quiere que el niño complete una actividad concreta.

4.3.2.2 Robots de Asistencia

Con la información de las entrevistas de la primera fase y las observaciones realizadas en esta fase, se define la aplicación del robot de asistencia para el apoyo al proceso terapéutico. Para esta actividad también se utilizó la revisión realizada en el Capítulo 2, donde se identificó el uso de robots humanoides como robots de asistencia para niños con parálisis cerebral, desde el robot Cosmobot, en forma de juguete, que se usó para ejercicios en miembros superiores para niños con parálisis cerebral (Brisben et al., 2005), hasta el robot NAO en escenarios para realizar ejercicios (Norjasweeen Abdul Malik, Yussof, Hanapiah, Rahman, & Basri, 2015). En estos estudios se identificó la importancia de usar la interacción de un robot como un compañero en la terapia. Estos robots se pueden utilizar como factores que acompañan y motivan al niño a realizar los ejercicios de la terapia a través de la interacción entre el robot y el niño, además de tener un aspecto como un juguete, generando atención.

Para este segundo caso se propone el uso del robot NAO como un robot de asistencia social para ser utilizado en la terapia y direccionar el cumplimiento de objetivos terapéuticos. El robot NAO es un robot humanoide autónomo y programable desarrollado por *Aldebaran Robotics*. Este robot tiene 25 grados de libertad, mide

58 cm de altura y pesa 4,5 kg (SoftBank Robotics, 2014a). La Figura 25 muestra el diagrama de la propuesta para la aplicación del robot de asistencia social.



Figura 25. Diagrama de la propuesta para la terapia usando el robot NAO.

La propuesta para la intervención es usar el robot de asistencia social como un compañero en la terapia que motiva al niño a realizar ejercicios. El robot se utilizará para dar órdenes y realimentar acciones a través de la interacción y el contacto físico con el niño. Será un mediador social para invitar y promover ejercicios de marcha, pero no se usará para que el niño imite los patrones de marcha del robot. Los problemas de usar este robot en tareas de imitación de marcha se describen en (Norjasween Abdul Malik et al., 2015).

Aprovechando la apariencia física del robot, que se parece a un niño, el robot actuará como un compañero en la terapia. El robot da instrucciones verbales al niño para comenzar, continuar y mantener la marcha. El robot fue programado para interactuar de manera autónoma con el niño en terapia a través de frases audibles en el idioma español y movimientos con sus brazos y cabeza. Fue programado usando el software Choregraphe Suite y el software Python SDK – NAO (SoftBank Robotics, 2014b).

4.3.2.3 *Objetivos Terapéuticos SMART*

Habiendo definido el robot NAO como robot de asistencia social para este segundo caso de estudio, se definieron y escalaron los objetivos terapéuticos. Antes de iniciar con la intervención, se realizó una observación de una sesión de terapia para escalar y cuantificar los objetivos terapéuticos SMART. El escalado de los objetivos se realizó con la información de esta sesión y el concepto del terapeuta, quien conoce "a priori" los criterios para un resultado "exitoso" del niño y la expectativa realista de lo que es probable que se logre. Cada objetivo se cuantifica en la escala de 5 puntos (+2, +1, 0, -1 y -2). En las Tabla 17 y 18 se presentan los objetivos para n4 y n5, respectivamente. Los dos objetivos son similares para los dos niños, con diferencias en el número de pasos sin colapsar en el objetivo 1 para cada niño.

Tabla 17. Escalado de objetivos terapéuticos SMART para n4.

Escala GAS	Objetivo 1	Objetivo 2
+2 Mucho mejor de lo esperado	Siguiendo instrucciones verbales del terapeuta y del robot humanoide, el niño es capaz de iniciar la marcha desde sedestación a bipedestación con control y realizar 26 pasos sin colapsar .	Siguiendo instrucciones verbales del terapeuta y del robot humanoide, el niño es capaz de mantenerse en la posición bípedo estable, sin colapsar durante 2 minutos , realizando alcances y manipulación de juguetes en línea media.
+1 Mejor de lo esperado	Siguiendo instrucciones verbales del terapeuta y del robot humanoide, el niño es capaz de iniciar la marcha desde sedestación a bipedestación con control y realizar 23 pasos sin colapsar .	Siguiendo instrucciones verbales del terapeuta y del robot humanoide, el niño es capaz de mantenerse en la posición bípedo estable, sin colapsar durante 1 minuto y 30 segundos , realizando alcances y manipulación de juguetes en línea media.
0 Lo esperado	Siguiendo instrucciones verbales del terapeuta y del robot humanoide, el niño es capaz de iniciar la marcha desde sedestación a bipedestación con control y realizar 20 pasos sin colapsar .	Siguiendo instrucciones verbales del terapeuta y del robot humanoide, el niño es capaz de mantenerse en la posición bípedo estable, sin colapsar durante 1 minuto , realizando alcances y manipulación de juguetes en línea media.
-1 Peor de lo esperado (línea base)	Siguiendo instrucciones verbales del terapeuta y del robot humanoide, el niño es capaz de iniciar la marcha desde sedestación a bipedestación con control y realizar 18 pasos sin colapsar .	Siguiendo instrucciones verbales del terapeuta y del robot humanoide, el niño es capaz de mantenerse en la posición bípedo estable, sin colapsar durante 45 segundo , realizando alcances y manipulación de juguetes en línea media.
-2 Mucho peor de lo esperado	Siguiendo instrucciones verbales del terapeuta y del robot humanoide, el niño es capaz de iniciar la marcha desde sedestación a bipedestación con control y realizar 16 pasos sin colapsar .	Siguiendo instrucciones verbales del terapeuta y del robot humanoide, el niño es capaz de mantenerse en la posición bípedo estable, sin colapsar durante 30 segundos , realizando alcances y manipulación de juguetes en línea media.

Tabla 18. Escalado de objetivos terapéuticos SMART para n5.

Escala GAS	Objetivo 1	Objetivo 2
+2 Mucho mejor de lo esperado	Siguiendo instrucciones verbales del terapeuta y del robot humanoide, el niño es capaz de iniciar la marcha desde sedestación a bipedestación con control y realizar 24 pasos sin colapsar .	Siguiendo instrucciones verbales del terapeuta y del robot humanoide, el niño es capaz de mantenerse en la posición bípedo estable, sin colapsar durante 2 minutos , realizando alcances y manipulación de juguetes en línea media.
+1 Mejor de lo esperado	Siguiendo instrucciones verbales del terapeuta y del robot humanoide, el niño es capaz de iniciar la marcha desde sedestación a bipedestación con control y realizar 20 pasos sin colapsar .	Siguiendo instrucciones verbales del terapeuta y del robot humanoide, el niño es capaz de mantenerse en la posición bípedo estable, sin colapsar durante 1 minuto y 30 segundos , realizando alcances y manipulación de juguetes en línea media.
0 Lo esperado	Siguiendo instrucciones verbales del terapeuta y del robot humanoide, el niño es capaz de iniciar la marcha desde sedestación a bipedestación con control y realizar 16 pasos sin colapsar .	Siguiendo instrucciones verbales del terapeuta y del robot humanoide, el niño es capaz de mantenerse en la posición bípedo estable, sin colapsar durante 1 minuto , realizando alcances y manipulación de juguetes en línea media.
-1 Peor de lo esperado (línea base)	Siguiendo instrucciones verbales del terapeuta y del robot humanoide, el niño es capaz de iniciar la marcha desde sedestación a bipedestación con control y realizar 13 pasos sin colapsar .	Siguiendo instrucciones verbales del terapeuta y del robot humanoide, el niño es capaz de mantenerse en la posición bípedo estable, sin colapsar durante 45 segundo , realizando alcances y manipulación de juguetes en línea media.
-2 Mucho peor de lo esperado	Siguiendo instrucciones verbales del terapeuta y del robot humanoide, el niño es capaz de iniciar la marcha desde sedestación a bipedestación con control y realizar 10 pasos sin colapsar .	Siguiendo instrucciones verbales del terapeuta y del robot humanoide, el niño es capaz de mantenerse en la posición bípedo estable, sin colapsar durante 30 segundos , realizando alcances y manipulación de juguetes en línea media.

4.3.3 Fase 3. Intervención terapéutica

Igual que en caso anterior y basado en el principio de promover el desempeño funcional de los niños, la intervención se realizó con el enfoque de terapia dirigida a objetivos (Brogren Carlberg & Löwing, 2013) para lograr el éxito de la tarea (Novak et al., 2013). Este principio se basa en la realización de actividades

dirigidas a lograr objetivos funcionales, en lugar de lograr patrones de movimiento "normales". Estos logros se pueden convertir en comportamientos eficientes para el desempeño en las actividades de la vida diaria.

Antes de iniciar la intervención, se realizó una sesión de reconocimiento, donde el niño conoció el robot e interactuó con él por primera vez. Durante esta sesión, el robot saludó al niño diciendo "Hola" y realizó movimientos aleatorios de la cabeza y las extremidades superiores. Este reconocimiento se llevó a cabo con el objetivo de no tener un impacto negativo en la primera sesión de terapia, ya que el niño podría distraerse y no participar en la terapia propuesta.

La intervención terapéutica consistió en 16 sesiones de terapia física, con dos sesiones semanales de 45 minutos cada una. La primera sesión fue de terapia usual centrada en las habilidades de control motor del niño, que se enfocó en el logro de la marcha con control, previa realización de actividades preparatorias de estiramiento, fortalecimiento muscular global y actividades para mejorar la estabilidad pélvica y escapular. En la segunda sesión se realizó la terapia centrada en el cumplimiento de los objetivos usando el robot humanoide como asistente social. Esta alternancia entre la terapia usual y la terapia con el robot se repitió hasta que se completaron las 16 sesiones.

La decisión de intercambiar sesiones con robot y sin él se basó en la hipótesis que la presencia continua del robot durante un largo tiempo (8 semanas) podría hacer que el niño se habituara y la motivación y participación disminuyera en las sesiones usuales. Además, así se podía garantizar la continuidad al proceso de rehabilitación usual de los niños. En las Tabla 19 y Tabla 20 se muestra el cronograma que se realizó en las intervenciones para n4 y n5, respectivamente. Para el n4, se realizaron registros en la semana 3, 6 y 9. La intervención se extendió una semana más debido a problemas de salud del niño, generando que el cronograma se extendiera a 9 semanas, cumpliendo con la propuesta de la intervención de 8 semanas (Tabla 19). Para n5, se realizaron registros en la semana 3, 6 y 8 (Tabla 20).

Tabla 19. Cronograma de intervención para n4.

SEM	0		1		2		3		4		5		6		7	
ACT	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU
V	C	V EVA					V						V			

SEM	8		9	
ACT	NT	NT	R	TU
V			V	

Tabla 20. Cronograma de intervención para n5.

SEM	0		1		2		3		4		5		6		7		8	
ACT	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU	R	TU
V	C	V EVA					V						V				V	

Nomenclatura para las tablas:

SEM: Semana

ACT: Actividad

R: Terapia con Robot de Asistencia
TU: Terapia Usual (sin robot de asistencia)
NT: No hubo terapia
C: Sesión para conocer el robot
V: Se realizó grabación de video para evaluación
EVA: Evaluación Inicial

La actividad de la sesión de terapia usando el robot NAO consistió en una rutina de ejercicios para marcha y equilibrio. El robot invita al niño a realizar los ejercicios. El robot pide al niño que realice una caminata de un lugar a otro, usando frases motivadoras y definidas por el terapeuta. El robot humanoide fue programado para dar la señal de salida con voz audible en lenguaje español, y con movimientos de su cabeza y los miembros superiores para indicar la actividad. Los niños realizan transiciones de sedestación a bipedestación, ejercicios de marcha y manipulación de juguetes con miembros superiores en posición bípedo estable. Además, los niños interactúan con el robot humanoide a través de sensores táctiles (cabeza y manos) para realimentar positivamente la realización de los ejercicios (Figura 26).

Un ejemplo de una rutina de la terapia realiza para el cumplimiento del objetivo 1 se describe en los siguientes pasos:

- (1) El terapeuta comienza la terapia informándole al niño que debe llevar un juguete donde se encuentra el robot.
- (2) El niño comienza la actividad en posición sedente, realiza la transición de sedente a bípedo y camina con el juguete hacia donde está el robot.
- (3) El niño camina y lleva el juguete. Si el niño se cae en el primer intento, el terapeuta le pide que regrese y comience la actividad nuevamente. Para el segundo intento, si el niño se cae de nuevo, el terapeuta lo alentaría a levantarse y terminar la actividad.
- (4) Cuando el niño llega donde el robot, entrega el juguete y toca la cabeza del robot.
- (5) El robot le da retroalimentación al niño diciendo frases positivas por haber completado la actividad.

Algunas frases de retroalimentación fueron:

- (a) Juan, muy bien hecho.
- (b) Lo has hecho muy bien.
- (c) Muy bien Juan, has traído el juguete.

(6) El ejercicio se repite en el otro sentido: robot - terapeuta. El niño toca de nuevo la cabeza del robot y este le indica verbalmente que debe traer otro juguete. Además, el robot extiende un brazo indicando donde debe ir (Figura 26). Algunas frases indicativas fueron:

- (a) Por favor, trae otro juguete.
- (b) Juan, ve y trae otro juguete.
- (c) Ve por otro juguete, por favor.

Esta actividad se repitió y se realizó durante aproximadamente 20 minutos en un gimnasio donde n4 podía caminar más de 20 pasos.



Figura 26. n4 y n5 interactuando con el robot humanoide.

4.3.3.1 Evaluación

Finalmente, la intervención se evaluó utilizando GAS, que cuantifica y evalúa los resultados en objetivos terapéuticos (King et al., 1999). GAS establece objetivos individuales y es sensible a mínimos cambios, que son clínicamente significativos y difíciles de apreciar mediante el uso de escalas estandarizadas, como GMFM (*Gross Motor Function Measure*) (Russell & Hart, n.d.), el test de Timed Up and Go o el test de 10 metros (*10 Metre Walk Test*). Por ejemplo, si se hubiera usado GMFM, no se habría tenido la sensibilidad requerida para medir el objetivo propuesto, pues en el numeral E de esta escala (caminar, correr y saltar) cuantifica 10 pasos para caminar, y los niños para este caso, al inicio de las intervenciones, realizaban 18 y 13 pasos, respectivamente.

La evaluación de los objetivos fue realizada por un terapeuta que no participó en las terapias (para no sesgar la evaluación) a través de videos grabados de las sesiones. A través de estos videos, el terapeuta valoró el cumplimiento de los objetivos para la intervención. En la Figura 27 y Figura 28 se presentan el diagrama de los resultados de la evaluación de cada objetivo para cada niño.

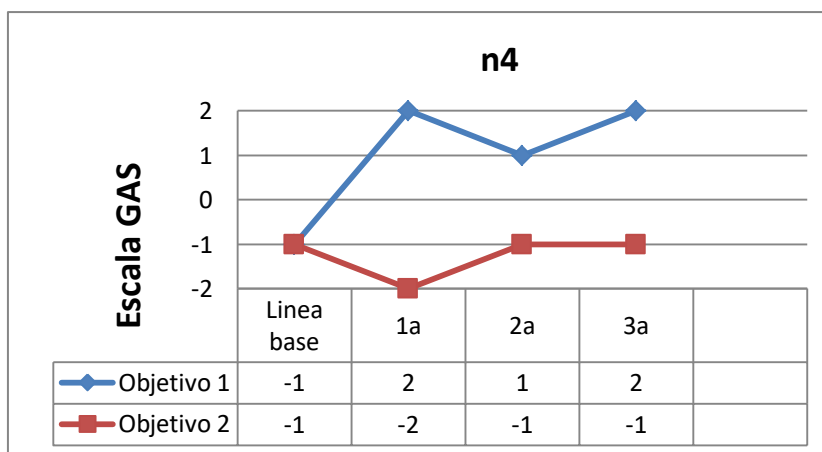


Figura 27. Evaluación de objetivos de n4.

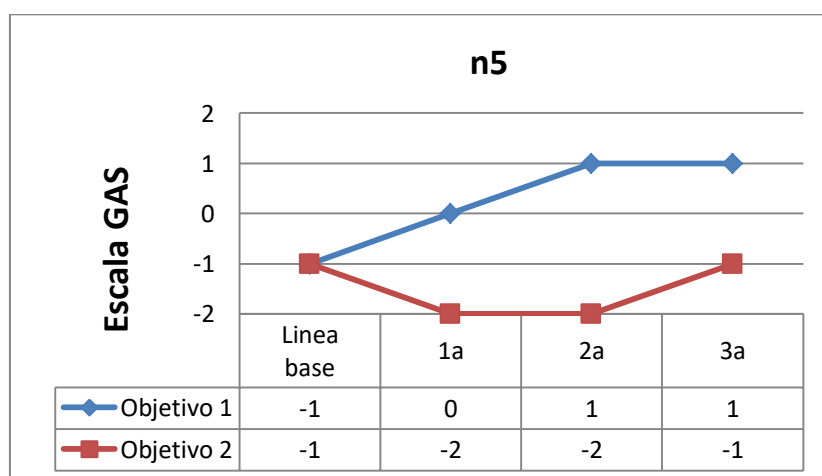


Figura 28. Evaluación de objetivos de n5.

4.3.3.2 Resultados

Según las evaluaciones de los objetivos, n4 en el objetivo 1 logró +2 (26 pasos) en la escala en la primera evaluación (semana 3), sobrepasando el objetivo planteado. Para la siguiente evaluación la calificación fue de +1 (23 pasos), presentando un descenso en el número de pasos con respecto a la primera evaluación. Por la última evaluación, logro +2 y se observó un incremento aún mayor de lo realizado en la semana 4 (31 pasos). Para n5 en el objetivo 1 logro 0 en la escala GAS, logrando así el cumplimiento del objetivo en la primera evaluación. En las siguientes dos evaluaciones, logró +1 en la escala. Según estos resultados del objetivo 1, los niños lograron un número de pasos mayor al número de pasos propuesto en la escala.

Para el caso de n4, a las 11 semanas de terminada la intervención con el robot humanoide, se realizó una nueva valoración a través de otro fisioterapeuta ajeno al trabajo realizado hasta el momento. La valoración fue de 100 pasos realizados por el niño, en la primera orden, sin colapsar y sin la presencia del robot.

Para el objetivo 2 no se lograron resultados positivos. En este objetivo los niños debían mantenerse en posición bípedo estable sin colapsar por un tiempo determinado. Esta métrica no fue planteada de manera correcta, ya que en la formulación y escalado del objetivo, los criterios para el resultado del niño no fue confiable, debido a que la posición bípedo estable, establece que el niño debe estar quieto sin mover sus extremidades, con estrategias de apoyo en tobillos, cadera y la base de sustentación. Debido a los compromisos motores de los niños, los niños mantienen la posición bípedo con movimientos fluctuantes en las extremidades inferiores. Además de lo anterior, este objetivo se trabajaba después del objetivo 1, donde los niños habían realizado caminatas entre 15 y 20 minutos.

Con los objetivos evaluados en la escala GAS (-2 y +2), se calculó el valor promedio de GAS (T) usando la Ecuación 1. La Figura 29 muestra los resultados de la calificación promedio GAS (T) de los dos niños.

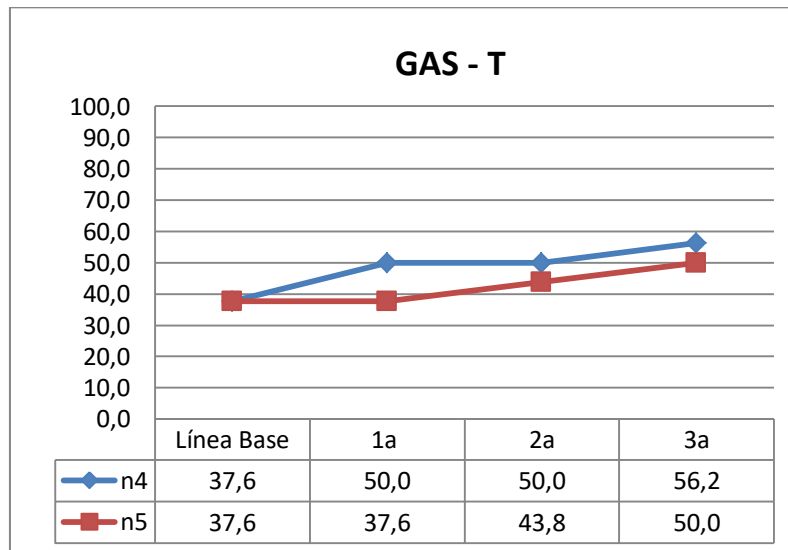


Figura 29. Valoración de objetivos usando GAS para n4 y n5.

4.3.4 Fase 4. Escenarios terapéuticos.

Como resultado del desarrollo de las fases del segundo caso de estudio, se generan dos escenarios, los cuales son una propuesta de la representación formal y generalizada de una intervención terapéutica a través de un robot de asistencia social para niños con parálisis cerebral.

Los escenarios terapéuticos son:

Escenario 5: CAMINEMOS (Tabla 21).

Escenario 6: DE-PIE (Tabla 22).

Tabla 21. Escenario Terapéutico CAMINEMOS.

Participantes	<p>Un niño con diagnóstico de parálisis cerebral, con nivel II o III en las escalas GMFCS. El rol del niño en la terapia es realizar ejercicios de marcha, además de transiciones de sedente a bípedo para iniciar y continuar ejercicios de marcha.</p> <p>Un profesional en terapia física u ocupacional. El rol del profesional es dar indicaciones al niño para iniciar la marcha. Además, de preparar y acondicionar físicamente al niño para los ejercicios.</p>
Objetivo Terapéutico	El niño es capaz de iniciar la marcha desde sedestación a bipedestación con control y caminar una distancia o número de pasos sin colapsar.
Áreas de Terapia o Rehabilitación	<p>Conjunto de la CIF para PC:</p> <ul style="list-style-type: none"> • b140 Funciones de la atención • d450 Andar • b770 Funciones relacionadas con el patrón de la marcha • b1301 Motivación
Aplicación del robot de Asistencia	Robot NAO con una rutina para realimentar al niño con frases en español. Cuando el niño llegue donde el robot y le toque la cabeza, el robot realimenta con frases como: muy bien hecho.
Actividad	<p>La actividad consiste en ejercicios para la marcha.</p> <p>Primero el niño es preparado para realizar la actividad.</p> <p>El niño inicia la actividad en posición sedente y realiza la transición de sedente a bípedo e inicia la marcha.</p> <p>El niño camina hasta donde se encuentra el robot.</p> <p>El terapeuta le da indicaciones para lograr terminar la caminata sin colapsar.</p> <p>Cuando el niño llega donde el robot, puede interactuar con el robot.</p> <p>Además, el robot le indica al niño que debe volver donde el terapeuta.</p> <p>Las frases e indicaciones el robot las pronuncia en lenguaje español.</p>
Configuración del lugar de la terapia	<p>La terapia se realiza en un espacio con un área mínima de 20 metros cuadrados.</p> <p>Se ubica y configura el robot humanoide en la distancia que se desea que el niño logre caminar.</p>
Tiempo	<p>Duración de la actividad: Entre 20 y 30 minutos.</p> <p>Número de intervenciones: 8 intervenciones con el robot humanoide, realizando una intervención semanal.</p>
Evaluación	GAS o COMP

Tabla 22. Escenario Terapéutico DE-PIE.

Participantes	<p>Un niño con diagnóstico de parálisis cerebral, con nivel II o III en las escalas MACS y GMFCS. El rol del niño en la terapia es mantener en posición bípedo y realizar ejercicios con los miembros superiores.</p> <p>Un profesional en terapia física u ocupacional. El rol del profesional es indicar al niño instrucciones sobre los ejercicios que debe realizar. Además, de preparar y acondicionar físicamente al niño para la realización de los ejercicios.</p>
Objetivo Terapéutico	El niño es capaz mantenerse en posición bípeda y manipular objetos en línea media sin colapsar.
Áreas de Terapia o Rehabilitación	<p>Conjunto de la CIF para PC:</p> <ul style="list-style-type: none"> • b140 Funciones de la atención • d415 Mantener la posición del cuerpo • b1301 Motivación
Aplicación del robot de Asistencia	Robot NAO con una rutina de movimientos para sus miembros superiores y cabeza para invitar e indicar al niño a recibir y entregar un objeto en posición bípeda con sus manos. Las frases e indicaciones el robot las

	pronuncia en lenguaje español.
Actividad	<p>La actividad consiste de un ejercicio donde el niño debe mantenerse en posición bípedo para manipular un objeto en línea media.</p> <p>El niño y el robot NAO se ubican frente a frente en posición bípeda a una distancia de 1 m. Al lado del niño se ubica un conjunto de objetos o juguetes para el niño los manipule y entregue al terapeuta.</p> <p>Primero el robot le indica al niño que debe entregarle un objeto al terapeuta, usando frases y moviendo los miembros superiores para la acción a realizar.</p> <p>El niño en posición bípeda, agarra el objeto y se lo entrega al terapeuta.</p> <p>El terapeuta toca la mano del robot, para que el robot pronuncie una frase de realimentación positiva al niño por haber realizado el ejercicio.</p> <p>Se repite el ejercicio, mientras el niño se mantenga en la posición bípeda.</p> <p>Si el niño cae, o deja caer el objeto, el terapeuta le ayuda al niño a volver a iniciar la actividad.</p>
Configuración del lugar de la terapia	La terapia se realiza en un espacio con un área mínima de 12 metros cuadrados. Se utilizan objetos como juguetes para que el niño los manipule.
Tiempo	<p>Duración de la actividad: Entre 20 y 30 minutos.</p> <p>Número de intervenciones: 8 intervenciones con el robot NAO, realizando una intervención semanal.</p>
Evaluación	GAS o COMP

4.4 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se presentó la validación de la metodología OTERA-NPC. Se realizaron dos casos de estudio con 5 niños con parálisis cerebral que presentan diferentes escalas de funcionamiento motor.

El primer caso presentó la intervención terapéutica para tres niños severamente comprometidos, los cuales usaron la herramienta TherAppyBot que fue diseñada teniendo en cuenta las entrevistas y mapeos de contexto propuestos por la metodología. A través de esta herramienta los niños fueron intervenidos en el área de terapia ocupacional realizando ejercicios motores y cognitivos. A nivel motor los niños realizaron estrategias motoras para lograr alcances con miembros superiores en el plano horizontal. A nivel cognitivo demostraron habilidades como el concepto de causalidad y relaciones binarias. Esto también se evidenció con los resultados de las evaluaciones según la escala GAS.

La herramienta TherAppyBot promueve el cumplimiento de objetivos terapéuticos y demostró ser una herramienta de asistencia interactiva usando robots LEGO® e interfaces para niños con discapacidad motriz. Además, se abren nuevas oportunidades para intervenir procesos terapéuticos usando estos robots.

El en segundo caso de estudio se realizó la intervención terapéutica en el área de fisioterapia con dos niños clasificados en la escala III de la GMFCS. Para este caso, la intervención se realizó a través del robot humanoide NAO que se utilizó como un compañero en la terapia, quien ayudó en el proceso a generar atención y motivación para la realizaron de ejercicios para la marcha, transiciones de sedente e bípedo y control en bípedo.

Se demostró que usar el robot NAO como un robot de asistencia social permitió el cumplimiento de objetivos terapéuticos. Los niños incrementaron el número de pasos en la marcha sin colapsar. Así mismo, se presentan posibilidades para intervenir procesos de rehabilitación para niños con parálisis cerebral usando robots de asistencia social.

Además de todo lo anterior, la metodología generó cuatro escenarios terapéuticos que permiten formalizar la intervención para niños con parálisis cerebral usando la aplicación TherAppyBot, y dos escenarios usando el robot humanoide NAO. Cada escenario representa un método formal para promover el cumplimiento de un objetivo terapéutico, presentando el rol del niño y el terapeuta, la descripción de la actividad y configuración del espacio para la realización de la intervención.



Capítulo 5. Conclusiones

Este trabajo doctoral presenta nuevos resultados de investigación y desarrollo en el área de las tecnologías de asistencia para la rehabilitación en niños con discapacidades motoras. Específicamente se plantea una propuesta de metodología para promover el cumplimiento de **Objetivos TERapéuticos** a través de **Robots de Asistencia para Niños con Parálisis Cerebral**, OTERA-NPC. Esta metodología plantea cuatro fases como un camino formal para realizar una intervención terapéutica. En estas fases se identifica el contexto del niño, se especifican los objetivos terapéuticos, se diseña la aplicación en los robots de asistencia para la intervención, se evalúan los objetivos, y por último, se generan escenarios terapéuticos para formalizar la intervención por medio de robots de asistencia para niños con parálisis cerebral. Esta formalización es un aporte significativo que puede guiar los procesos de intervención terapéutica a través de tecnologías como los robots de asistencia interactivos y sociales.

La propuesta metodológica está fundamentada en un contexto terapéutico y tecnológico. Desde el punto de vista terapéutico, la intervención tiene un enfoque centrado en objetivos SMART, que se evalúan a través de la Escala de Medición de Objetivos (GAS); y desde el punto tecnológico, la metodología utiliza técnicas del Diseño Centrado en el Usuario para el desarrollo de las aplicaciones en los robots de asistencia para la intervención terapéutica.

Esta propuesta contribuye al estado del arte en la utilización objetivos SMART y su cuantificación y evaluación a través de la escala GAS, como un aporte para la formulación de estos objetivos en procesos de rehabilitación para niños con parálisis cerebral. Así mismo, contribuye al uso de enfoques como el diseño centrado el usuario para el desarrollo de robots de asistencia para intervenciones en niños con parálisis cerebral. El uso de este enfoque centrado en el usuario, en conjunto con equipos multidisciplinarios, genera nuevas posibilidades de uso de robots de asistencia en el contexto terapéutico para mejorar resultados motores y cognitivos en niños con parálisis cerebral.

A través de los casos de estudio realizados en esta tesis, donde se realizaron intervenciones a 5 niños, se validó la metodología en un ambiente terapéutico real utilizando robots de asistencia interactivos y sociales para promover el cumplimiento de objetivos SMART en niños con parálisis cerebral. Estas validaciones mostraron resultados positivos en la mayoría de las evaluaciones de los objetivos, direccionando nuevas oportunidades para procesos de rehabilitación en niños con parálisis cerebral.

Para la validación de la metodología se desarrollaron y generaron nuevas aplicaciones a través robots LEGO® y el robot humanoide NAO, que permitieron demostrar que niños con parálisis cerebral pueden utilizar estos robots en intervenciones terapéuticas para mejorar habilidades motoras y cognitivas. A través de estas aplicaciones se promueven ejercicios “simples”, como el de mover una extremidad superior para realizar un

alcance en línea media para activar un interruptor, o realimentar una acción a través de una frase motivadora para continuar y terminar un ejercicio de marcha, donde los niños con parálisis cerebral obtienen resultados importantes a nivel motor y cognitivo. Dentro de este contexto, también se pudo apreciar que los niños presentaban un comportamiento más participativo, cuando se realizaban las intervenciones a través de la tecnología. Esto fue evidenciado con información suministrada por parte de los terapeutas que participaron en los casos de estudio, donde ellos percibieron un cambio en los niños cuando se realizaba la terapia con los robots.

Las aplicaciones desarrolladas para las intervenciones fueron validadas en el Centro de NeuroRehabilitación SURGIR, que es un ambiente terapéutico real, donde los niños asisten de manera usual al proceso de rehabilitación. Lo anterior nos permite categorizar las aplicaciones en el Nivel de Madurez Tecnológica TRL 7 (*Technology Readiness Level*), ya que el desarrollo tecnológico fue validado en un ambiente terapéutico, con usuarios finales, como son el niño con parálisis cerebral y el terapeuta, generando así un producto para ser usado en terapias.

Además de lo anterior, estas aplicaciones impactaron positivamente al Centro de NeuroRehabilitación SURGIR, ya que a través de gestiones administrativas y de investigación se formuló y desarrolló un proyecto para crear e implementar nuevas aplicaciones tecnológicas para los procesos terapéuticos del Centro. El proyecto se planteó y participó en la convocatoria nacional SENNOVA (SENNOVA, 2017), donde fue seleccionado para ser financiado y ejecutado. En el proyecto se desarrolló siguiendo la metodología OTERA-NPC y se generaron nuevas aplicaciones interactivas con nuevas interfaces de acceso, APPS para dispositivos móviles y robots LEGO® para realizar intervenciones en procesos terapéuticos para personas con trastornos de aprendizaje, discapacidades motoras y cognitivas. Es importante recalcar que el Centro de NeuroRehabilitación ha creado una nueva sala para llevar a cabo procesos terapéuticos basados en los desarrollos realizados en el proyecto y dar continuidad a intervenciones a través de esta tecnología.

5.1 Trabajos Futuros

El uso de tecnologías para apoyar procesos terapéuticos, es un campo que ofrece horizontes y a través de trabajos como el de esta tesis doctoral, se crean nuevos caminos para continuar trabajando en esta área. A continuación presentan los trabajos que se pueden derivar o dar continuidad al realizado en esta tesis.

- Validar nuevos casos de estudio por tiempo más largos para fortalecer la propuesta metodológica, generando evidencias para promover el uso de robots interactivos y sociales en intervenciones terapéuticas, no solo para niños con parálisis cerebral, sino con personas con otras discapacidades.

- Validar y realimentar los escenarios terapéuticos propuestos, con el objetivo de generar nuevas estrategias para llevar a cabo intervenciones terapéuticas a través de robots interactivos y sociales.
- Crear nuevos escenarios terapéuticos con diferentes tipos de robots y nuevas tecnologías.
- Proponer intervenciones terapéuticas usando el robot Humanoide NAO para niños con parálisis cerebral, que generen nuevas estrategias de interacción entre el niño, el terapeuta y el robot.
- Proponer nuevas aplicaciones para utilizar robots LEGO® y nuevas interfaces de acceso, como un *Eye-Tracker*, sensores gesticulares u otras interfaces táctiles.
- Usar otras escalas de evaluación, como COMP (*Canadian Occupational Performance Measure*) para medir los objetivos terapéuticos, o la evaluación usando la escala PEDI (*Pediatric Evaluation of Disability Inventory*) en intervenciones de largo plazo para identificar otros cambios en el niño con discapacidad.

5.2 Publicaciones

A continuación se mencionan las publicaciones realizadas en el marco de esta tesis doctoral.

5.2.1 Eventos

- Buitrago, J. A., & Caicedo, E. F. (2015). Una propuesta metodológica para identificar y evaluar interfaces para niños con discapacidades motrices. In T. F. Bastos-Filho & S. F. dos R. Alves (Eds.), *Proceedings of the 1 st International Workshop on Assistive Technologies* (pp. 323–324). Vitória, Brasil.
- Buitrago, J. A., Ramírez, J., & Caicedo, E. (2015). Intervenciones terapéuticas para niños con discapacidad motriz a través de robots. In IBERADA (Ed.), *VIII Congreso Iberoamericano de Tecnologías de Apoyo a la Discapacidad* (pp. 125–129). Punta Arenas, Chile: Club de Leones Cruz del Sur
- Buitrago, J., Bolaños, A. M., & Caicedo, E. (2017). Usando Robots Lego® en terapias para niños con Parálisis Cerebral. *Iberdiscap 2017. Memorias Congreso Iberoamericano de Tecnologías de Apoyo a La Discapacidad*, 9, 334–338.
- Buitrago, J. A., Caicedo, E., & Bolaños, A. M. (2018). Usando un Robot Humanoide para el Aprendizaje Motor en Niños con Parálisis Cerebral. In C. Collazos (Ed.), *IV Jornada Iberoamericana Interacción Humano Computador*. Popayán.

5.2.2 Capítulo de libro

- Buitrago, J. A., & Caicedo, E. F. (2017). Defining therapeutic scenarios using robots for children with cerebral palsy. In *Biosystems and Biorobotics* (Vol. 15, pp. 1475–1479). Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-46669-9_242

5.2.3 Revistas

- Buitrago, J. A., Bolaños, A. M., & Caicedo, E. F. (2019). A motor learning therapeutic intervention for a child with cerebral palsy through a social assistive robot. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 0(0), 1–6. <https://doi.org/10.1080/17483107.2019.1578999>.
- Buitrago, J. A. & Caicedo, E. F. Therapeutic intervention through Robots LEGO for children with cerebral palsy. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 2019. (Sometido)
- Buitrago, J. A., Montoya, P. A., Chavez, C. P., and Caicedo, E. F. Assistive technology to support therapeutic processes for children with learning disorders, UX for Children with Special Needs: Design, Interaction and Learning. 2019. (Aceptado)
- Bacca, B; Caicedo, E; Buitrago, J; NAOMOBBOY, Software Tool to Support Physical Rehabilitation Therapies of Upper Limbs Using Computer Vision and Robotics. *Revista Tecnológicas*. 2019. (Sometido).
- Montoya, P.A., Chavez, C.P., Buitrago, J.A., USO DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS EN EL MANEJO TERAPÉUTICO DE NIÑOS CON TRASTORNOS DEL APRENDIZAJE: ESTUDIO DE CASOS, *Revista Colombiana de Rehabilitación*. 2019. (Sometido)

5.2.4 Premio

- Segundo Puesto en la modalidad Reporte de Caso en ponencia oral en el VII SEMINARIO INTERNACIONAL, X NACIONAL DE DISCAPACIDAD, DIVERSIDAD Y JUSTICIA SOCIAL Y IV ENCUENTRO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y EXPERIENCIAS EN DISCAPACIDAD, realizado en Bucaramanga - Colombia, los días 3 y 4 de Mayo del 2018. Universidad de Santander. Trabajo titulado: Experiencias en Procesos Terapéuticos usando Robótica de Asistencia para dos Niños con Parálisis Cerebral. Jaime Alberto Buitrago, Facultad de Ingeniería, Universidad del

Quindío. Ana Marcela Bolaños, Escuela de Rehabilitación Humana, Universidad del Valle. Eduardo Caicedo Bravo, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad del Valle.

Referencias

- AbleNet Inc. (2017a). Buddy Button. Retrieved January 22, 2019, from <https://www.ablenetinc.com/buddy-button>
- AbleNet Inc. (2017b). Buddy Button.
- Abras, C., Abras, C., Maloney-krichmar, D., & Preece, J. (2004). User-Centered Design. *IN BAINBRIDGE, W. ENCYCLOPEDIA OF HUMAN-COMPUTER INTERACTION. THOUSAND OAKS: SAGE PUBLICATIONS*. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.94.381>
- Adams, K., & Cook, A. (2016). Using robots in “Hands-on” academic activities: a case study examining speech-generating device use and required skills. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 11(5), 1–11. <https://doi.org/10.3109/17483107.2014.986224>
- Adams, K., & David, B. (2013). METHODS OF MANIPULATION FOR CHILDREN WITH SEVERE DISABILITIES TO DO. *RESNA ANNUAL CONFERENCE - 2013*.
- ADAMS, K., & ENCARNACÃO, P. (2011). A Training Protocol for Controlling Lego Robots via Speech Generating Devices. *Everyday Technology for Independence and Care*, 517–525. <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-814-4-517>
- Adams, K., María, A., Rincón, R., & Encarnação, P. (2013). *Learning Switch Scanning Skills by Playing with Robots*. 360–365. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-304-9-360>
- AGENCY FOR CLINICAL INNOVATION. (2013). *Rehabilitation Goal Training*. Retrieved from http://www.aci.health.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0014/272210/Rehab_Goal_Training_Workbook.pdf
- Alderaban, R. (2014). NAO Robot. Retrieved March 20, 2006, from <https://www.ald.softbankrobotics.com/en/cool-robots/nao>
- Anthrotronix. (2014). Biomedical Assistive Devices - Anthrotronix. Retrieved May 28, 2016, from <http://www.anthrotronix.com/our-work/biomedical-assistive-devices/>
- Badge, H., Weekes, M., Jones, B., & Strettles, B. (2013). *Goal Training*.
- Bax, M., Goldstein, M., Rosenbaum, P., Leviton, a, Paneth, N., Dan, B., ... Executive Committee for the Definition of Cerebral, P. (2005). Proposed definition and classification of cerebral palsy, April 2005. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 47(8), 571–576. <https://doi.org/10.1017/S001216220500112X>
- Bernd, T., Gelderblom, G. J., Vanstipelen, S., & Witte, L. de. (2010). Short Term Effect Evaluation of IROMEC Involved Therapy for Children with Intellectual Disabilities. *Social Robotics SE - 27*, 6414, 259–264. https://doi.org/10.1007/978-3-642-17248-9_27
- Besio, S., & Caprino, F. (2009). *How to use robots for play in therapy and educational context ? The IROMEC methodological proposal*. 24–26.
- Besio, S., Carnesecchi, M., & Converti, R. M. (2013). Prompt-fading Strategies in Robot Mediated Play Sessions. *Assistive Technology: From Research to Practice, AAATE*, 143–148. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-304-9-143>
- Bovend'Eerd, T. J. H., Botell, R. E., & Wade, D. T. (2009). Writing SMART rehabilitation goals and achieving goal attainment scaling: a practical guide. *Clinical Rehabilitation*, 23(4), 352–361. <https://doi.org/10.1177/0269215508101741>
- Brisben, A. J., Safos, C. S., Lockerd, A. D., & Lathan, C. E. (2005). *The CosmoBot™ System : Evaluating its*

*Usability in Therapy Sessions with Children Diagnosed with Cerebral Palsy **.

- Brogren Carlberg, E., & Löwing, K. (2013). Does goal setting in activity-focused interventions for children with cerebral palsy influence treatment outcome? *Developmental Medicine and Child Neurology*, 55(SUPPL.4), 47–54. <https://doi.org/10.1111/dmcn.12307>
- Buitrago, J., Bolaños, A. M., & Caicedo, E. (2017). Usando Robots Lego® en terapias para niños con Parálisis Cerebral. *Iberdiscap 2017. Memorias Congreso Iberoamericano de Tecnologías de Apoyo a La Discapacidad*, 9, 334–338.
- Buitrago, Jaime A., & Caicedo, E. F. (2017). Defining therapeutic scenarios using robots for children with cerebral palsy. In *Biosystems and Biorobotics* (Vol. 15, pp. 1475–1479). https://doi.org/10.1007/978-3-319-46669-9_242
- Buitrago, Jaime Alberto, Bolaños, A. M., & Caicedo, E. F. (2019). A motor learning therapeutic intervention for a child with cerebral palsy through a social assistive robot. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 0(0), 1–6. <https://doi.org/10.1080/17483107.2019.1578999>
- Calderita, L. V., Bustos, P., Suárez Mejías, C., Fernández, F., & Bandera, a. (2013). THERAPIST: Towards an Autonomous Socially Interactive Robot for Motor and Neurorehabilitation Therapies for Children. *7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare and Workshops*, 1, 374–377. <https://doi.org/10.4108/icst.pervasivehealth.2013.252348>
- Caprino, F., Besio, S., Laudanna, E., & Cappuccini, S. (2010). *Using Robots in Education and Therapy Sessions for Children with Disabilities : Guidelines for Teachers and Rehabilitation Professionals*. 511–518.
- Caprino, F., & Laudanna, E. (2009). *Methodological Framework to Set up Educational and Therapy Sessions with Robotic Technology : the IROMEC Proposal*. 176–182. <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-042-1-176>
- Cerebral Palsy Alliance. (2016). Goal Directed Training. Retrieved from Institute, Cerebral Palsy Alliance Research website: <https://research.cerebralpalsy.org.au/about-cerebral-palsy/interventions-and-therapies/goal-directed-training-gdt-for-children-with-cerebral-palsy/>
- Chiarello, L. a, Palisano, R. J., Bartlett, D. J., & McCoy, S. W. (2011). A multivariate model of determinants of change in gross-motor abilities and engagement in self-care and play of young children with cerebral palsy. *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics*, 31(2), 150–168. <https://doi.org/10.3109/01942638.2010.525601>
- Child, M. (2016). About Cerebral Palsy- Resources for Children with CP. Retrieved May 28, 2016, from <http://www.cerebralpalsy.org/about-cerebral-palsy>
- Colver, A., Fairhurst, C., & Pharoah, P. O. D. (2014). Cerebral palsy. *The Lancet*, 383(9924), 1240–1249. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61835-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61835-8)
- Cook, A. M., Adams, K., Encarnação, P., & Alvarez, L. (2012). The role of assisted manipulation in cognitive development. *Developmental Neurorehabilitation*, 15(2), 136–148. <https://doi.org/10.3109/17518423.2011.635609>
- Cook, A. M., Member, S., Bentz, B., Harbottle, N., Lynch, C., & Member, S. (2005). *School-Based Use of a Robotic Arm System by Children With Disabilities*. 13(4), 452–460.
- Cook, A. M., Meng, M. Q. H., Gu, J. J., & Howery, K. (2002). Development of a robotic device for facilitating learning by children who have severe disabilities. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering : A Publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 10(3), 178–187. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2002.802877>
- Cook, A, Adams, K., Volden, J., Harbottle, N., & Harbottle, C. (2011). Using Lego robots to estimate cognitive ability in children who have severe physical disabilities. *Disability & Rehabilitation: Assistive*

- Technology. <https://doi.org/doi:10.3109/17483107.2010.534231>
- Cook, A, Howery, K., Gu, J., & Meng, M. (2000). Robot enhanced interaction and learning for children with profound physical disabilities. *Technology and Disability*, 13, 1–8.
- Cook, Al, Encarnação, P., & Adams, K. (2010). Robots: Assistive technologies for play, learning and cognitive development. *Technology and Disability*, 22(3), 127–145. <https://doi.org/10.3233/TAD-2010-0297>
- Doran, G. T. (1981). There's a S.M.A.R.T. way to write managements's goals and objectives. *Management Review*, Vol. 70, pp. 35–36. <https://doi.org/10.1177/004057368303900411>
- Dorrington, P., Wilkinson, C. R., Tasker, L., & Walters, A. (2016). User-Centered Design Method for the Design of Assistive Switch Devices to Improve User Experience , Accessibility , and Independence. *International Journal of Usability Studies*, 11(2), 66–82.
- Eliasson, A.-C., Krumlinde-Sundholm, L., Rösblad, B., Beckung, E., Arner, M., Öhrvall, A.-M., & Rosenbaum, P. (2006). The Manual Ability Classification System (MACS) for children with cerebral palsy: scale development and evidence of validity and reliability. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 48(07), 549. <https://doi.org/10.1017/S0012162206001162>
- Encarnação, P., Leite, T., Nunes, C., Nunes da Ponte, M., Adams, K., Cook, A., ... Ribeiro, M. (2017). Using assistive robots to promote inclusive education. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 12(4), 352–372. <https://doi.org/10.3109/17483107.2016.1167970>
- Encarnação, Pedro, Alvarez, L., Rios, A., Maya, C., Adams, K., & Cook, A. (2014). Using virtual robot-mediated play activities to assess cognitive skills. *Disability and Rehabilitation. Assistive Technology*, 9(3), 231–241. <https://doi.org/10.3109/17483107.2013.782577>
- Encarnação, Pedro, Piedade, G., Adams, K., & Cook, A. M. (2012). Virtual Assistive Robot for Play. *Biomedical Engineering / 765: Telehealth / 766: Assistive Technologies*, (At). <https://doi.org/10.2316/P.2012.766-010>
- Encarnação, Pedro, Piedade, G., Cook, A., & Adams, K. (2011). *Virtual robot and virtual environments for cognitive skills assessment* *. (Projecto 3599), 508–516.
- Esser, P. (2018). Probes for Context Mapping – How to Design and Use Them. Retrieved November 18, 2018, from Interaction Design Foundation website: <https://www.interaction-design.org/literature/article/probes-for-context-mapping-how-to-design-and-use-them>
- Feil-seifer, D., & Matari, M. J. (2005). *Defining Socially Assistive Robotics*. 465–468.
- Fong, T., & Nourbakhsh, I. (2003). Socially interactive robots. *Robotics and Autonomous Systems*, 42(3–4), 139–141. [https://doi.org/10.1016/S0921-8890\(02\)00371-8](https://doi.org/10.1016/S0921-8890(02)00371-8)
- Fridin, M. (2014). Storytelling by a kindergarten social assistive robot: A tool for constructive learning in preschool education. *Computers & Education*, 70, 53–64. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.043>
- Fridin, M., & Belokopytov, M. (2014). Robotics Agent Coacher for CP motor Function (RAC CP Fun). *Robotica*, 32(8, SI), 1265–1279. <https://doi.org/10.1017/S026357471400174X>
- Fujimoto, I., Matsumoto, T., S. De Silva, P. R., Kobayashi, M., & Higashi, M. (2010). *Study on an Assistive Robot for Improving Imitation Skill of Children with Autism*. 232–242.
- González, J. C., Pulido, J. C., & Fernández, F. (2017). A three-layer planning architecture for the autonomous control of rehabilitation therapies based on social robots. *Cognitive Systems Research*, 43, 232–249. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2016.09.003>
- González, J. C., Pulido, J. C., Fernández, F., & Suárez-Mejías, C. (2015). Planning, execution and monitoring of physical rehabilitation therapies with a robotic architecture. *Studies in Health Technology and*

- Informatics*, 210, 339–343. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25991162>
- Hidecker, M. J. C., Ho, N. T., Dodge, N., Hurvitz, E. a., Slaughter, J., Worker, M. S., ... Paneth, N. (2012). Inter-relationships of functional status in cerebral palsy: Analyzing gross motor function, manual ability, and communication function classification systems in children. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 54(8), 737–742. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2012.04312.x>
- HIDECKER, M. J. C., PANETH, N., ROSENBAUM, P. L., KENT, R. D., LILLIE, J., EULENBERG, J. B., ... TAYLOR, K. (2011). Developing and validating the Communication Function Classification System for individuals with cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 53(8), 704–710. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2011.03996.x>
- Howard, A. M. (2013). Robots Learn to Play: Robots Emerging Role in Pediatric Therapy. *Proceedings of the Twenty-Sixth International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference*, 3–8.
- Howell, R. (1989). *A Prototype Robotic Arm for Use by Severely Orthopedically Handicapped Students*. Washington D.C.
- Interaction Design Foundation. (2002). What is User Centered Design? Retrieved September 24, 2018, from <https://www.interaction-design.org/literature/topics/user-centered-design>
- IROMEC. (2009). IROMEC. Retrieved June 1, 2015, from <http://www.iromec.org/>
- Irwin, L., Siddiqi, D., Hertzman, C. (2007). Early child development: A powerful equalizer. *Tropical Medicine & International Health*, 1–38. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2010.10.008>
- ISO. (1999). ISO 13407:1999 - Human-centred design processes for interactive systems. Retrieved September 24, 2018, from <https://www.iso.org/standard/21197.html>
- Jelles, F., Van Bennekom, C. A., Lankhorst, G. J., Sibbel, C. J., & Bouter, L. M. (1995). Inter- and intra-rater agreement of the Rehabilitation Activities Profile. *Journal of Clinical Epidemiology*, 48(3), 407–416. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7897461>
- Johnson, M. J., Micera, S., Shibata, T., & Guglielmelli, E. (2008). Rehabilitation and assistive robotics. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 15(3). <https://doi.org/10.1109/MRA.2008.928304>
- Keren, G., Ben-David, A., & Fridin, M. (2012). *Kindergarten Assistive Robotics (KAR) as a Tool for Spatial Cognition Development in Pre - school Education*. 1084–1089.
- Ketelaar, M., Vermeer, A., Hart, H., van Petegem-van Beek, E., & Helders, P. J. (2001). Effects of a functional therapy program on motor abilities of children with cerebral palsy. *Physical Therapy*, 81(9), 1534–1545. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11688590>
- King, G. a, Palisano, R. J., & Tucker, M. A. (1999). Goal Attainment Scaling : Its Use in Evaluating Pediatric Therapy Programs. *Physical and Occupational Therapy in Pediatrics*, 19(2), 31–52. https://doi.org/10.1080/J006v19n02_03
- Kiresuk, D. T. J., & Sherman, M. R. E. (1968). Goal attainment scaling: A general method for evaluating comprehensive community mental health programs. *Community Mental Health Journal*, 4(6), 443–453. <https://doi.org/10.1007/BF01530764>
- Klein, T., Gelderblom, G. J., Witte, L. de, & Vanstipelen, S. (2011). Evaluation of short term effects of the IROMEC robotic toy for children with developmental disabilities. *IEEE ... International Conference on Rehabilitation Robotics : [Proceedings], 2011*, 5975406. <https://doi.org/10.1109/ICORR.2011.5975406>
- Kommu, S. S. (2012). Rehabilitation Robotics. In S. S. Kommu (Ed.), *Foundations and Trends in Robotics* (Vol. 3). <https://doi.org/10.1561/23000000028>
- Kronreif, G., Prazak-Aram, B., Kornfeld, M., Hochgatterer, A., & Fürst, M. (2007). Robot assistant “PlayROB” - User trials and results. *Proceedings - IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, 113–117. <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2007.4415063>

- Kronreif, G., Prazak, B., Mina, S., Kornfeld, M., Meindl, M., & Fürst, M. (2005). *PlayROB – Robot-Assisted Playing for Children with Severe Physical Disabilities*. 193–196.
- Kwee, H., & Quaedackers, J. (1999). POCUS PROJECT: ADAPTING THE CONTROL OF THE MANUS MANIPULATOR FOR PERSONS WITH CEREBRAL PALSY. *ICORR: International Conference on Rehabilitation Robotics*.
- Lambrecht, S., Urrea, O., Grosu, S., & Nombela, S. P. (2014). Emerging Rehabilitation in Cerebral Palsy. In J. L. Pons & D. Torricelli (Eds.), *Emerging Therapies in Neurorehabilitation Biosystems & Biorobotics* (Vol. 4, pp. 23–49). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-38556-8>
- LEGO. (2016). LEGO MINDSTORMS EV3 Education 45544 Instructions. Retrieved January 14, 2017, from <http://robotsquare.com/2013/10/01/education-ev3-45544-instruction/>
- LEGO Education. (2016). LEGO® MINDSTORMS® Education EV3 Core Set. Retrieved November 8, 2018, from <https://education.lego.com/en-us/products/lego-mindstorms-education-ev3-core-set-/5003400>
- Lins, A. A., de Oliveira, J. M., Rodrigues, J. J. P. C., & de Albuquerque, V. H. C. (2018). Robot-assisted therapy for rehabilitation of children with cerebral palsy - A complementary and alternative approach. *Computers in Human Behavior*, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.05.012>
- Löwing, K., Bexelius, A., & Brogren Carlberg, E. (2009). Activity focused and goal directed therapy for children with cerebral palsy - Do goals make a difference? *Disability and Rehabilitation*, 31(22), 1808–1816. <https://doi.org/10.1080/09638280902822278>
- Löwing, K., Bexelius, A., & Carlberg, E. B. (2010). Goal-directed functional therapy: A longitudinal study on gross motor function in children with cerebral palsy. *Disability and Rehabilitation*, 32(11), 908–916. <https://doi.org/10.3109/09638280903353422>
- Mailloux, Z., May-benson, T. A., Summers, C. A., Miller, L. J., Brett-green, B., Burke, J. P., ... Schoen, S. A. (2007). *Goal Attainment Scaling as a Measure of Meaningful Outcomes for Children With Sensory Integration Disorders*. 61(2).
- Malik, Norjasween Abdul, Yussof, H., Hanapiah, F. A., Rahman, R. A. A., & Basri, H. H. (2015). Human-Robot Interaction for Children with Cerebral Palsy: Reflection and Suggestion for Interactive Scenario Design. *Procedia Computer Science*, 76(Iris), 388–393. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.315>
- Malik, Norjasween Abdul, Yussof, H., & Hanapiah, F. A. (2014). Development of Imitation Learning through Physical Therapy Using a Humanoid Robot. *Procedia Computer Science*, 42, 191–197. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.11.051>
- Malik, Norjasween Abdul, Yussof, H., & Hanapiah, F. A. (2017). Interactive Scenario Development of Robot-assisted Therapy for Cerebral Palsy: A Face Validation Survey. *Procedia Computer Science*, 105(December 2016), 322–327. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.229>
- Malik, Norjasween Abdul, Yussof, H., Hanapiah, F. A., & Anne, S. J. (2014). Human Robot Interaction (HRI) between a humanoid robot and children with Cerebral Palsy: Experimental framework and measure of engagement. *IECBES 2014, Conference Proceedings - 2014 IEEE Conference on Biomedical Engineering and Sciences: "Miri, Where Engineering in Medicine and Biology and Humanity Meet,"* (December), 430–435. <https://doi.org/10.1109/IECBES.2014.7047536>
- Marti, P., Giusti, L., & Pollini, A. (2009). Exploring play styles with a robot companion. *Proceedings - IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, 717–722. <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2009.5326229>
- Martín, A., González, J. C., Pulido, J. C., García-Olaya, Á., Fernández, F., & Suárez, C. (2015). *Therapy Monitoring and Patient Evaluation with Social Robots*. 1–4.
- Martínez Matheus, M., & Ríos Rincón, A. (2006). La tecnología en rehabilitación: una aproximación

- conceptual. *Rev. Cienc. Salud. Bogotá (Colombia)*, 4(63), 98–108.
- Mastos, M., Miller, K., Eliasson, A. C., & Imms, C. (2007). Goal-directed training: linking theories of treatment to clinical practice for improved functional activities in daily life. *Clinical Rehabilitation*, 21(1), 47–55. <https://doi.org/10.1177/0269215506073494>
- McDougall, J., & King, G. (2007). *GOAL ATTAINMENT SCALING: Description, Utility, and Applications in Pediatric Therapy Services*.
- Miguel Cruz, A., Ríos Rincón, A. M., Rodríguez Dueñas, W. R., Quiroga Torres, D. A., & Bohórquez-Heredia, A. F. (2017). What does the literature say about using robots on children with disabilities? *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 12(5), 429–440. <https://doi.org/10.1080/17483107.2017.1318308>
- Montero, Y. H. (2001). No sólo usabilidad : revista multidisciplinar sobre diseño, personas y tecnología.
- Norman, D. A., & Draper, S. W. (1986). *User centered system design : new perspectives on human-computer interaction*. Retrieved from <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=576915>
- Novak, I., McIntyre, S., Morgan, C., Campbell, L., Dark, L., Morton, N., ... Goldsmith, S. (2013). A systematic review of interventions for children with cerebral palsy: State of the evidence. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 55(10), 885–910. <https://doi.org/10.1111/dmcn.12246>
- OMS, O. M. de la S. (2011). *Informe Mundial sobre la Discapacidad*. Ediciones OMS.
- OMS, O. M. de la S. (2013). *El desarrollo del niño en la primera infancia y la discapacidad: Un documento de debate*.
- OPS, O. P. de la S. (2009, January 29). Discapacidad. Salud de las Personas con Discapacidad. Retrieved May 28, 2016, from http://www.paho.org/chi/index.php?option=com_content&view=article&id=82:discapacidad&Itemid=215
- Pajaro Blázquez, M. (2013). Clinical Application of Robotics in Children with Cerebral Palsy. *Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation*, 1, 255–258. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-34546-3>
- Palisano, R., Rosenbaum, P., Walter, S., Russell, D., Wood, E., & Galuppi, B. (2008). Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 39(4), 214–223. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1997.tb07414.x>
- Patrizia, M., Claudio, M., Leonardo, G., & Alessandro, P. (2009). *A Robotic Toy for Children with special needs: From requirements to Design*. 918–923.
- Plaisant, C., Druin, A., Lathan, C., Dakhane, K., Edwards, K., Vice, J. M., & Montemayor, J. (2000). A storytelling robot for pediatric rehabilitation. *Proceedings of the Fourth International ACM Conference on Assistive Technologies - Assets '00*, 50–55. <https://doi.org/10.1145/354324.354338>
- Poletz, L., Adams, K., Cook, A., & Encarnac, P. (2010). *Robot skills and cognitive performance of preschool children*. 22, 117–126. <https://doi.org/10.3233/TAD-2010-0296>
- Pulido, J. C., González, J. C., Suárez-Mejías, C., Bandera, A., Bustos, P., & Fernández, F. (2017). Evaluating the Child–Robot Interaction of the NAOTherapist Platform in Pediatric Rehabilitation. *International Journal of Social Robotics*, 9(3), 343–358. <https://doi.org/10.1007/s12369-017-0402-2>
- Rahman, R. A. A., Hanapiah, F. A., Basri, H. H., Malik, N. A., & Yussof, H. (2015). Use of Humanoid Robot in Children with Cerebral Palsy: The Ups and Downs in Clinical Experience. *Procedia Computer Science*, 76(Iris), 394–399. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.316>
- Ranatunga, I., Rajruangrabin, J., Popa, D. O., & Makedon, F. (2011). Enhanced therapeutic interactivity using social robot Zeno. *Proceedings of the 4th International Conference on Pervasive Technologies*

Related to Assistive Environments - PETRA '11, 1. <https://doi.org/10.1145/2141622.2141690>

- Raya, R., Rocon, E., Urendes, E., Velasco, M. A., Clemotte, A., & Ceres, R. (2015). Assistive Robots for Physical and Cognitive Rehabilitation in Cerebral Palsy. In S. Mohammed, J. C. Moreno, K. Kong, & Y. Amirat (Eds.), *Intelligent Assistive Robots* (pp. 133–156). Switzerland: Springer International Publishing Switzerland.
- Robins, B., Ferrari, E., & Dautenhahn, K. (2008). Developing scenarios for robot assisted play. *RO-MAN 2008 - The 17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, 180–186. <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2008.4600663>
- Robins, B., Ferrari, E., Dautenhahn, K., Kronreif, G., Prazak-Aram, B., Gelderblom, G., ... Marti, P. (2010). Human-centred design methods: Developing scenarios for robot assisted play informed by user panels and field trials. *International Journal of Human-Computer Studies*, 68(12), 873–898. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2010.08.001>
- Rosson, M. B., & Carroll, J. M. (2002). *Scenario-Based Design*. 1032–1050. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2011.07.004>
- Russell, D. J., & Hart, H. M. (n.d.). *Gross motor function measure (GMFM-66 & GMFM-88) user's manual*. Retrieved from https://books.google.com.co/books/about/Gross_Motor_Function_Measure_GMFM_66_and.html?id=gi4cngEACAAJ&source=kp_cover&redir_esc=y
- Schulmeister, J., Wiberg, C., Adams, K., Harbottle, N., & Cook, A. (2006). Robot Assisted Play for Children with Disabilities. *29th Annual RESNA Conference Proceedings*, (1), 1–5.
- SENNOVA. (2017). *Aplicación de la tecnología robótica en los procesos terapéuticos y de inclusión en personas en situación de discapacidad*. Cali: Programa Innovación y Desarrollo Tecnológico Productivo.
- Shamsuddin, S., Malik, N. A., Yussof, H., Mohamed, S., Hanapiah, F. A., & Yunus, F. W. (2014). Telerehabilitation in robotic assistive therapy for children with developmental disabilities. *IEEE TENSYP 2014 - 2014 IEEE Region 10 Symposium*, 370–375. <https://doi.org/10.1109/TENCONSpring.2014.6863060>
- Shamsuddin, S., Yussof, H., Ismail, L. I., Mohamed, S., Hanapiah, F. A., & Zahari, N. I. (2012). Humanoid Robot NAO Interacting with Autistic Children of Moderately Impaired Intelligence to Augment Communication Skills. *Procedia Engineering*, 41(Iris), 1533–1538. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.346>
- SoftBank Robotics. (2014a). NAO the humanoid robot | SoftBank Robotics. Retrieved November 8, 2018, from <https://www.softbankrobotics.com/emea/en/nao>
- SoftBank Robotics. (2014b). NAO the humanoid robot | SoftBank Robotics.
- Surgir. (2014). Surgir Web | Centro de Neurorehabilitación. Retrieved February 4, 2016, from <http://www.surgir.net/>
- Tapus, A., Maja, M., & Scassellatti, B. (2013). *The Grand Challenges in Socially Assistive Robotics*.
- THERAPIST. (2013). THERAPIST An autonomous and socially interactive robot for motor and neurorehabilitation therapies. Retrieved May 30, 2015, from <http://www.therapist.uma.es/>
- Turner-Stokes, L. (2006). *Goal Attainment Scaling (GAS) in Rehabilitation A practical guide* (p. 14). p. 14. Retrieved from <http://www.kcl.ac.uk/lsm/research/divisions/cicelysaunders/attachments/Tools-GAS-Practical-Guide.pdf>
- UNESCO, U. N. E. S. and C. O. (2009). Inclusion of Children with Disabilities : The Early Childhood Imperative. *UNESCO Policy Brief on Early Childhood*.

- UNICEF, F. de las N. U. para la I. (2013). *Estado Mundial de la Infancia 2013. Niñas y Niños con Discapacidad*.
- UseWell. (2016). UseWell - Methods. Retrieved October 1, 2018, from <http://www.usewell.be/#/methods/>
- Usewell Project. (2016). Focus Groups Method. Retrieved September 18, 2018, from <http://www.usewell.be/#/methods/focus-groups>
- Veronica Schiariti. (2017). ICF RESEARCH BRANCH - ICF Core Set for CP for CY. Retrieved October 19, 2018, from <https://www.icf-research-branch.org/icf-core-sets-projects2/neurological-conditions/icf-core-set-for-cp-for-cy>
- Waters, F. (2013). Understanding cerebral palsy—a guide for parents and professionals. *International Journal of Disability, Development and Education*, 60(2), 173–174. <https://doi.org/10.1080/1034912X.2013.786570>
- WHO, W. H. O. (2001). *The International Classification of Functioning, Disability and Health*. Geneva: WHO Library Cataloguing-in-Publication Data.
- Wood, K. a, Lathan, C. E., & Kaufman, K. R. (2009). Development of an interactive upper extremity gestural robotic feedbad Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society.ck system: from bench to reality. *Conference Proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference, 2009Confer*, 5973–5976. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2009.5333523>
- Xu, J., Bryant, D. G., Chen, Y.-P., & Howard, A. (2018). Robot therapist versus human therapist: Evaluating the effect of corrective feedback on human motor performance. *2018 International Symposium on Medical Robotics (ISMR)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ISMR.2018.8333308>
- Yussof, H., Ismail, L. I., Shamsuddin, S., Hanapiah, F. A., Mohamed, S., Piah, H. A., ... Hashim, H. (2012). *Human-Robot Interaction Intervention Therapy Procedure for Initial Response of Autism Children with Humanoid Robot*. 148–150.